

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) _____ Электроэнергетических систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка технологии контроля частичных разрядов в высоковольтной изоляции на основе импульсного метода

УДК 621.315.61.027:537.5:681.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM72	Токтарбаев Магжан Калмуратович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мытников Алексей Владимирович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Латышева Елена Владимировна	Кандидат философских наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
И.О. руководителя ОЭЭ	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
ОК-1	Способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения
ОК-2	Способностью к письменной и устной коммуникации на государственном языке: умением логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; готовностью к использованию одного из иностранных языков
ОК-3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе
ОК-4	Способностью находить организационно-управленческие решения в нестандартных условиях и в условиях различных мнений и готовностью нести за них ответственность
ОК-5	способностью и готовностью понимать движущие силы и закономерности исторического процесса и определять место человека в историческом процессе, политической организации общества, анализировать политические события и тенденции, ответственно участвовать в политической жизни
ОК-6	способностью в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, готовностью приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения
ОК-7	готовностью к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции
ОК-8	способностью и готовностью осуществлять свою деятельность в различных сферах общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм
ОК-9	способностью и готовностью к соблюдению прав и обязанностей гражданина; к свободному и ответственному поведению
ОК-10	способностью научно анализировать социально значимые проблемы и процессы, готовностью использовать на практике методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности
ОК-11	способностью и готовностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией
ОК-12	способностью и готовностью к практическому анализу логики различного рода рассуждений, к публичным выступлениям, аргументации, ведению дискуссии и полемики
ОК-13	способностью и готовностью понимать и анализировать экономические проблемы и общественные процессы, быть активным субъектом экономической деятельности

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
ОК-14	Способностью самостоятельно, методически правильно использовать методы физического воспитания и укрепления здоровья, готовностью к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК-1	Способность и готовность использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики, в своей предметной области
ПК-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ПК-3	Готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способностью привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат
ПК-4	Способность и готовность использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности
ПК-5	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от последствий возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий
ПК-6	Способность и готовность анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ПК-7	Способность формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой);

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки (специальность) 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) _____ Электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Ивашутенко А.С.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5AM72	Токтарбаев Магжан Калмуратович

Тема работы:

Разработка технологии контроля частичных разрядов в высоковольтной изоляции на основе импульсного метода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Конструирование и проектирование испытательной установки. Основным элементом испытательной установки является система на основе схемы генерации коммутационных импульсов, которая подаёт на испытуемый объект (например, трансформатор) импульсы различной длительности и амплитуды. Установить принципиальную возможность контроля состояния обмоток, используя коммутационные</p>
---	--

	импульсы высоковольтной сети в качестве зондирующих.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Анализ существующих методов контроля состояния оборудования 2. Экспериментальная часть 3. Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение 4. Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент Латышева Е.В.
«Социальная ответственность»	Гуляев М.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы	
Приложение II	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM72	Токтарбаев Магжан Калмуратович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM72	Токтарбаеву Магжану Калмуратовичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетических систем
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и Электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов - по средней стоимости в г.Томске Оклады - в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормативные документы: 1. Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии предТЭО и ТЭО. Книги 1-3 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Общая система налогообложения (в т.ч. 27,1% - отчисления во внебюджетные фонды по хоздоговорам), ставка дисконтирования 10 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. SWOT-анализ.</i>
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ</i>
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет показателей экономической эффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Календарный план – график проведения НИОКР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Латышева Елена Владимировна	Кандидат философских наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM72	Токтарбаев Магжан Калмуратович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM72	Токтарбаеву Магжану Калмуратовичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования.	Разработка технологии контроля частичных разрядов в изоляции высоковольтных вводов конденсаторного типа на основе импульсного метода (8 корпус, 071 аудитория)
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
Производственная безопасность Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при разработке технологии и эксплуатации оборудования: повышенный уровень шума на рабочем месте; неудовлетворительное освещение; повышенный уровень электромагнитных полей (ЭМП); неудовлетворительный микроклимат; повышенный уровень напряженности электростатического поля; поражение электрическим током;
Экологическая безопасность	анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); решение по обеспечению экологической безопасности.
Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM72	Токтарбаев Магжан Калмуратович		

РЕФЕРАТ

Диссертационная работа содержит: 122 страниц, 49 рисунков, 32 таблиц, 25 формул, 32 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: силовое электрооборудование, электрическая изоляция, импульсный метод, повреждения изоляции, диагностика, коммутационные импульсы.

Объектом исследования является метод контроля ЧР на основе использования коммутационных импульсов.

Цель работы – определение работоспособности и эффективности метода.

В процессе исследования проводились анализы нормограмм и дефектограмм, полученные при подаче искусственных и естественных коммутационных зондирующих импульсов.

Область применения: данный метод может быть применен для любого оборудования, содержащего обмотки.

Экономическая значимость работы: исследования в данной области могут способствовать снижению числа аварий и нештатных ситуаций, затрат на ремонт, ущерб от останова производства.

Реферат на иностранном языке (английский)

The research contains: 122 pages, 49 figures, 32 tables, 25 formulas, 32 sources, 1 app.

Keywords: power equipment, electrical insulation, pulse method, insulation damage, diagnostic, switching pulse.

The object of THE research is the insulation monitoring method based on THE switching pulse APPLICATION (METHOD).

The research purpose is to determine the efficiency and the method effectiveness.

During the research and tests the normogramms and defectograms analysis carried by obtained at applying artificial and natural switching pulse on the tested transformer.

The basic constructive, technological and operational characteristics: it is the probe pulse duration and configuration.

Implementation degree: it is the experimental device creation.

Scope: this method can be applied to any equipment containing a winding.

The work economic significance: research in this sector can facilitate decrease number of accident and supernumerary situation, repair expenses, the damage from the manufacturing shutdown due to equipment defects.

Определения

- Электрическая изоляция – элемент конструкции электрооборудования, предназначенный для предотвращения возникновения электрического контакта между частями электроустановки, находящимися под различными электрическими потенциалами [16].

- Ресурс – объём работы или срок эксплуатации, на который рассчитывается изоляция. После исчерпания ресурса безопасная работа устройства не гарантируется.

- Надёжность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

- Диагностика – отрасль знаний, исследующая техническое состояние объектов (изделий и их составных частей) для поиска, обнаружения и установления признаков отклонений их параметров от допустимых пределов.

- Диагностирование – установление, изучение и измерение параметров состояния технических систем.

- Техническое состояние – совокупность подверженных изменению в процессе эксплуатации свойств изделия, характеризуемая в определенный момент времени определяющими параметрами (признаками), установленными технической документацией на это изделие.

- Генератор – электрическая машина, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую.

Обозначения, сокращения

ЭО – электрооборудование;

ЧР- частичный разряд;

ПН – перенапряжение;

КЗ – короткое замыкание;

ВН – высокое напряжение;

СН – среднее напряжение;

НН – низкое напряжение;

БМИ- бумажно масляная изоляция;

МБИ маслобарьерная изоляция;

НВИ – низковольтные импульсы;

ЛАТР – лабораторный автотрансформатор;

ТЗ – техническое задание;

ПЗ – пояснительная записка.

Оглавление

1. Литературный обзор	15
1.1 Электрофизические причины появления частичных разрядов (ЧР) в высоковольтной изоляции	15
1.2 ЧР в БМИ и МБИ. Виды, пути развития. Формирование дендритов и триингов. Привести фото и схемы развития процессов	20
1.3 Ползущий разряд как один из путей развития ЧР в многослойной изоляции	32
1.4 Физические методы и технические способы диагностик ЧР. Сложности обнаружения ЧР	34
1.5 Современные технологии контроля ЧР в высоковольтных вводах конденсаторного типа. Проблемы контроля ЧР в изоляции вводов. Пути повышения чувствительности и достоверности контроля ЧР. Анализ отечественного и зарубежного опыта	37
1.6 Технология импульсного дефектографирования. Метод НВИ. Результаты, полученные в ВЭИ	41
2. Экспериментальная часть	43
2.1 Контроль ЧР по прямоугольному импульсу	44
2.2 Контроль ЧР по коммутационному импульсу	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
3. Финансовый менеджмент	60
3.1 Введение	60
3.2 Предпроектный анализ	60
3.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	61
3.4 SWOT-анализ	63
3.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации	65
3.6 Виды коммерциализации	67
3.7 Организационная структура проекта	69

3.8 Планирование научно-технического проекта.....	69
3.8.1 Контрольные события проекта.....	70
3.8.2 План проекта	70
3.8.3 Бюджет научного исследования.....	75
3.8.4 Реестр рисков проекта	82
3.9 Определение финансовой, бюджетной, экономической и социальной эффективности исследования	82
3.9.1 Вывод по разделу	86
4. Социальная ответственность	87
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	88
4.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	88
4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	88
4.2. Производственная безопасность	89
4.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	89
4.2.2.Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	90
4.3. Экологическая безопасность	99
4.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	99
4.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.	100
4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	101
4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	102
Список использованной литературы.....	105

Приложение II.....	108
--------------------	-----

1. Литературный обзор

1.1 Электрофизические причины появления частичных разрядов (ЧР) в высоковольтной изоляции

Понятие частичного разряда в изоляции охватывает местный разряд на поверхности или внутри изоляции в виде короны, скользящий разряд или пробой отдельных элементов изоляции, шунтирующий часть изоляции между электродами, находящимися под разными потенциалами.

Частичные разряды в изоляции возникают в местах с пониженной электрической прочностью (например, в прослойках пропитывающей жидкости или в газовых включениях в толще диэлектрика). В дальнейшем элемент диэлектрика с пониженной электрической прочностью, участвующей в частичных разрядах, будет называться «включением».

При рассмотрении частичного разряда эквивалентная схема [1] диэлектрика емкостью C_x может быть представлена тремя емкостями (рис. 1): C_e – емкостью элемента диэлектрика, участвующего в частичных разрядах (емкость включения); C_d – емкостью элемента диэлектрика, включенного последовательно с первым, C_a – емкостью остальной части диэлектрика, лишенной включений. При этом

$$C_x = C_a + \frac{C_e C_d}{C_e + C_d} \quad (1.1)$$

Возникновение частичных разрядов произойдет тогда, когда напряжение на включении (рис. 1, емкость C_e) достигнет пробивного значения $U_{e.з.}$ – напряжения зажигания разряда во включении.

Так, например, при включениях в форме прослойки, вытянутой поперек силовых линий поля, напряженность во включении E_e связана с напряженностью в остальной части диэлектрика E_d соотношением

$$E_e/E_d = \varepsilon_d/\varepsilon_e, \quad (1.2)$$

где ε_e – диэлектрическая проницаемость включения;

ε_d – диэлектрическая проницаемость диэлектрика.

В случае газообразных включений напряженность во включении превышает напряженность в диэлектрике: так как $\epsilon_{\text{д}} > \epsilon_{\text{в}}$, $E_{\text{в}} > E_{\text{д}}$.

Соотношение между напряженностью во включении и средней напряженностью будет зависеть от соотношения между толщинами диэлектрика и включения. Если ввести обозначения: $d_{\text{в}}$ – толщина включения; U – напряжение на электродах образца, то для эквивалентной схемы рис. 1 имеем[1]:

$$E_{\text{в}} = \frac{UC_{\text{д}}}{d_{\text{в}}(C_{\text{д}} + C_{\text{в}})} = \frac{U\epsilon_{\text{д}}/d_{\text{д}}}{d_{\text{в}}(\frac{\epsilon_{\text{д}}}{d_{\text{д}}} + \frac{\epsilon_{\text{в}}}{d_{\text{в}}})} = \frac{U\epsilon_{\text{д}}}{\epsilon_{\text{в}}d_{\text{д}} + \epsilon_{\text{д}}d_{\text{в}}} \quad (1.3)$$

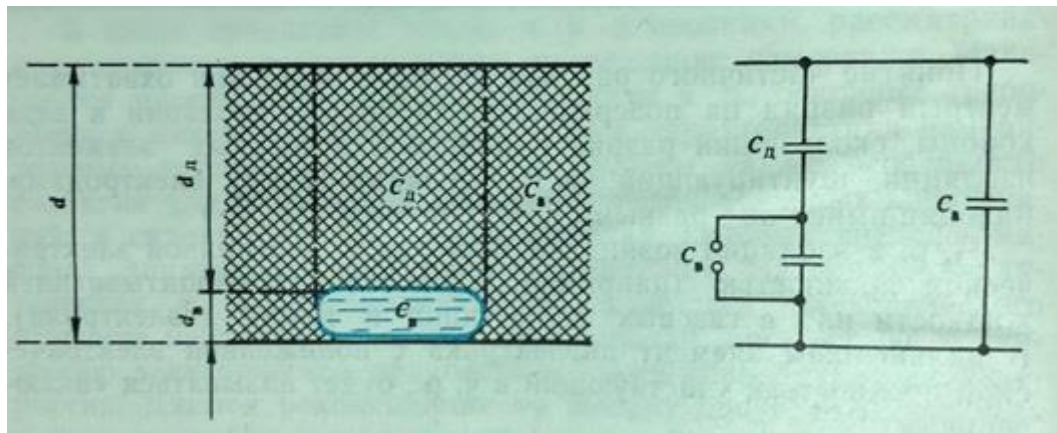


Рисунок 1 – Эквивалентная схема при рассмотрении частичного разряда в диэлектрике[1]

И отношение $E_{\text{в}}$ к средней напряженности $E_{\text{ср}} = U/(d_{\text{д}} + d_{\text{в}})$ равно:

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{ср}}} = \frac{1 + d_{\text{в}}/d_{\text{д}}}{(\epsilon_{\text{в}}/\epsilon_{\text{д}}) + (d_{\text{в}}/d_{\text{д}})}, \quad (1.4)$$

Таким образом, отношение $E_{\text{в}}/E_{\text{д}}$ зависит от отношения $d_{\text{в}}/d_{\text{д}}$. Если $d_{\text{в}}/d_{\text{д}} \ll 1$, то $E_{\text{в}}/E_{\text{д}} = \epsilon_{\text{в}}/\epsilon_{\text{д}}$.

Комплекс эксплуатационных воздействий, вызывающих старение изоляции, многообразен и сложен, однако во многих случаях основной причиной старения является электрическое поле высокой напряженности. Как установлено многими исследованиями, под действием электрического поля старение происходит преимущественно за счет развития в изоляции частичных разрядов. Действия этих факторов вызывает эрозию (разрушение поверхности с уносом материала), а также структурные изменения

(деструкция, сшивка полимерных цепей). Эрозия может быть обусловлена следующими причинами:

а) окислением полимеров высокореактивными радикалами, существующими только в зоне действия разряда.

б) реакциями микрорадикалов полимера, образовавшимися под действием разрядов, с кислородом газовой среды или другими активными веществами, возникшими в результате частичных разрядов.

в) бомбардировкой поверхности диэлектрика электронами и ионами.

Разрушающее действие частичных разрядов является результатом теплового воздействия, бомбардировка заряженными частицами (в основном электронами), воздействия химически активных продуктов, образовавшихся в процессе развития частичных разрядов, а также ударных волн и излучения.

Частичный разряд представляет собой электрический разряд, который происходит на небольшом участке изоляции, где напряжённость электрического поля превышает прочность по пробой материала. Он может произойти в пустотах в пределах твёрдой изоляции, по поверхности изолирующего материала, внутри газовых пузырьков в жидкой изоляции.



Рисунок 2 – Снимок поврежденной изоляции

По определению частичный разряд — это электрический разряд ограниченно шунтирующий изоляцию на отдельном участке конструкции. Частичный разряд возникает от ионизации газовых или жидких диэлектриков.

Он может происходить внутри изоляции и на поверхности двух сред. Возникновение и развитие зависит от типа диэлектрика и конструктивных особенностей изоляции объекта. Частичные разряды в изоляции являются следствием наличия неоднородностей в структуре диэлектрика и характеристик воздействующего на неё напряжения. Такими неоднородностями могут быть различные посторонние примеси и загрязнения, газовые полости, зоны увлажнения. Подобные дефекты образуются в структуре изоляции, как правило, в результате нарушения процесса ее изготовления и при эксплуатации оборудования (под влиянием механических воздействий, деформации, вибрации).

Перегрев изоляции ведёт к ускорению процесса её разрушения за счёт увеличения количества точек, в которых появляются новые дефекты, ведущие к увеличению количества и объёма дендритов. Это приводит к возрастанию напряжённости в поля этом районе. Частичный электрический разряд оказывает на изоляцию тепловое воздействие, а также разрушает её заряженными частицами и химически активными продуктами, образующимися в результате разряда.



Рисунок 3 – Тепловое воздействие ч.р. на изоляцию

Кроме того, частичные разряды вызывают возникновение токов импульсного характера в создающихся ими каналах. При пробое всё это сопровождается электромагнитным излучением, ударными волнами,

световыми вспышками и распадом изоляции на молекулярном уровне. Частичные разряды относятся к основным причинам повреждения оборудования высокого напряжения. Объясняется это тем, что появление частичных разрядов является начальной стадией развития большинства дефектов в высоковольтной изоляции. В результате этих процессов создаются условия для возникновения пробоя изоляции.

При превышении допустимых значений напряжения для конкретного диэлектрических материалов, в нём могут возникнуть частичные разряды, которые не приводят к немедленному прогоранию изоляции, поэтому могут быть вполне допустимы. Они получили название - начальные. Дальнейшее поднятие напряжения, увеличение размеров и количества включений, числа триингов в процессе продолжительной работы оборудования, приводит к резкому возрастанию интенсивности частичных разрядов. Их возникновение резко сокращает срок годности изоляции и может привести к её пробое. Такие разряды называются критическими.

Одним из основных элементов конструкции трансформаторов и электрических машин является - изоляция обмоток. Она может быть подвержена таким разрушающими факторами: длительное протекание токов воздействия тепловые; из – за работы магнитопровода - вибрационные нагрузки (для трансформаторов) и из – за приводного механизма (для электрических машин); последствия протекания пусковых токов и токов короткого замыкания.



Рисунок 4 – Поврежденная электрическая машина

Все эти факторы приводят к повреждению изоляции и возникновению частичных разрядов. Для электрических машин это является наиболее частой причиной отказа, а для трансформаторов выход из строя в результате повреждения вводов и следующим изоляция обмоток.

1.2 ЧР в БМИ и МБИ. Виды, пути развития. Формирование дендритов и триингов. Привести фото и схемы развития процессов

Частичный разряд ввиду кратковременности при импульсном напряжении представляет меньшую опасность, чем при напряжении промышленной частоты. Заметные следы на твердых изоляциях оставляют единичные частичные разряды кажущимся зарядом 10^{-6} Кл и более. Частичные разряды при импульсных напряжениях могут быть допущены до 10^{-7} Кл. Уровень частичного разряда по данным допустимы до 10^{-8} Кл [3].

Частичные разряды при кратковременной работе вызывают изменения: вытесняют масла вдоль пути разряда из твердых диэлектриков. Через какое – то время все следы исчезают, прочность изоляции и пропитки масла восстанавливаются. Частичные разряды при быстрой интенсивности вызывают ветвистые черные побеги.

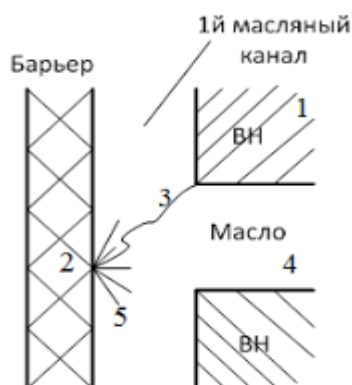


Рисунок 5 – Частичные разряды в маслобарьерной изоляции[2].

- 1) Катушки обмотки ВН
- 2) Разряды внутри барьера
- 3) Разряды в масляном канале
- 4) Канал между двумя катушками
- 5) Скользящий разряд

Электрическое старение маслобарьерной изоляции объясняется тем что в начальные результаты частичных разрядов малой интенсивности происходит разложение масла и это продолжается выделением газа (водорода), образованием смолистых тяжелых веществ, которые частично выпадают из масла и оседают на поверхности изоляционных деталей или на дне бака в виде черного шлака. Так же газ может скапливаться в таких узлах, где выход пузырей затруднен. Через некоторое время пузырьки могут достигнуть больших размеров, что в нем могут образоваться частичные разряды высокой интенсивностью и они могут разрушить твердую изоляцию. Образование шлака опасно тем что оно оседает на поверхности изоляции. В изоляции увеличивается $\text{tg}\delta$ и понижается отвод тепла с поверхности изоляции.

Начальная слабая интенсивность частичных разрядов в маслобарьерной изоляции лежит в пределах от 10^{-12} до 10^{-10} Кл. Если эти разряды происходят даже вблизи открытой поверхности бумаги и картона, с их воздействием на твердую изоляцию можно не считать. Длительное воздействие начальных частичных разрядов на бумагу и картон приводит к оседанию на поверхность изоляции нерастворимого шлака, но при этом изоляция остается работоспособной.

Различные степени опасности частичных разрядов, возникающих в разных местах изоляции силовых трансформаторов, приводит к тому, что при испытании трансформаторов на частичные разряды весьма важным является не только величина кажущегося заряда частичных разрядов, но и характер (динамика) изменения характеристик частичных разрядов по подъем и

спуске напряжения, а также при проведении испытаний. Особенно внимание следует обратить на явление гистерезиса (рис. 6-13), [31,66]

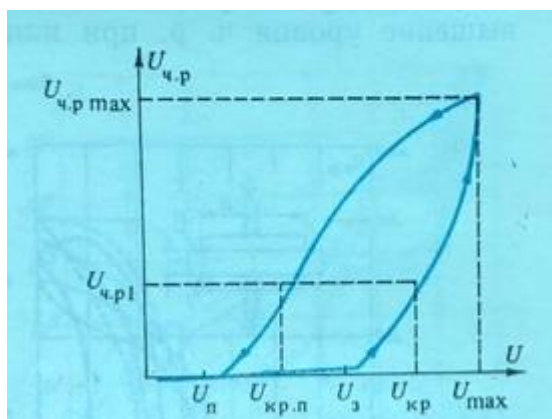


Рисунок 6 – Петля гистерезиса при измерении интенсивности ч.р.

Эти обстоятельства могут свидетельствовать о возможных повреждениях изоляции силовых трансформаторов, в ряде случаев необратимых.

Явление гистерезиса может наблюдаться не только при испытании маслосодержащей или бумажно-масляной изоляции (рис. 6-7, 6-14), но и при испытании искровых промежутков в масле (рис. 6-15) [66].

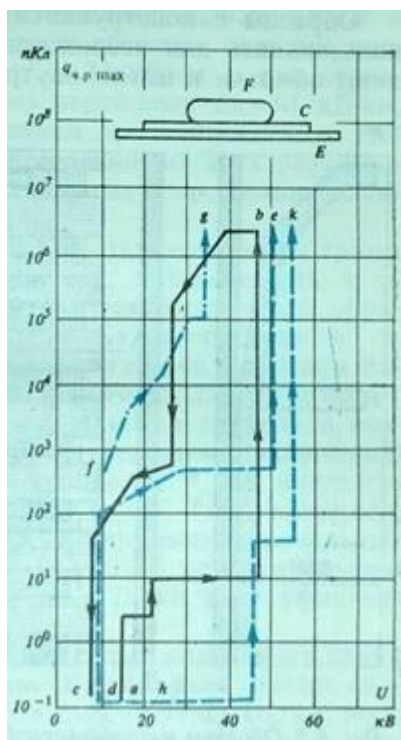


Рисунок 7 – Зависимость наибольших ч.р. от напряжения для масляных каналов.

Поэтому повышение уровня частичного разряда при напряжении, близком к номинальному, непосредственно после приложения испытательного напряжения не является бесспорным доказательством повреждения изоляции. Для получения более убедительных доказательств разрушения изоляции желательно подтвердить выше характеристики частичного разряда через 15 часов после испытания. Если гистерезиса нет, то можно предполагать отсутствие повреждения изоляции даже при наличии частичного разряда.

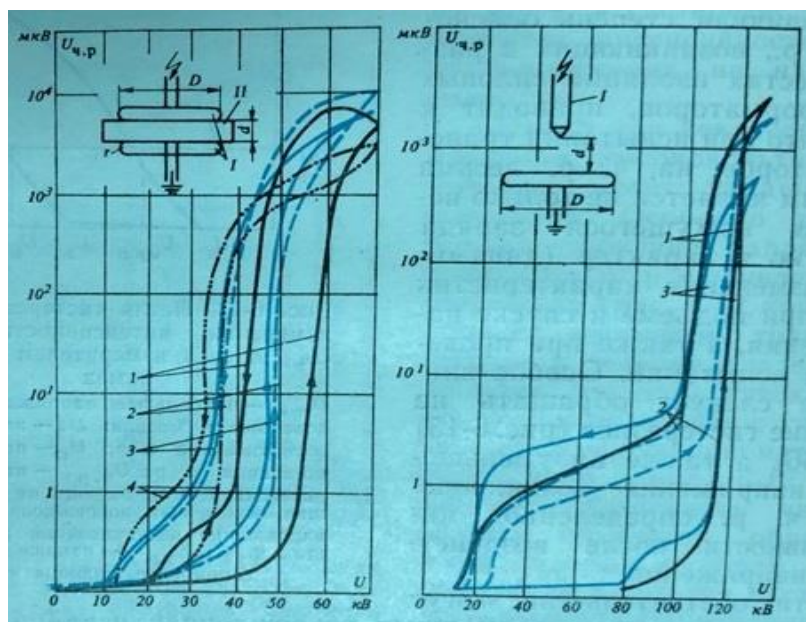


Рисунок 8 – Зависимости напряжения ч.р. от приложенного напряжения.

По измерениям частичного разряда в трансформаторах могут быть обнаружены следующие дефекты: воздушные включения и полости, недостаточная сушка, наличие посторонних предметов, недоброкачественность изоляционных материалов, плохо закругленные металлические детали, некачественное наложение изоляции, масляные прослойки, находящиеся при чрезмерно высоких напряженностях, плохие

соединения. Дефекты в трансформаторах определяются по следующему критерию: при испытательном напряжении уровень частичного разряда, измеренный измерителем помех (ИП) и приведенный к высоковольтному выводу трансформатора, должен быть не менее 1000 мкВ. В качестве примера на рис. 6-16 и 6-17 приведены характерные зависимости показания ИП от напряжения, из которых следует, что в дефектных трансформаторах уровень частичного разряда существенно превышает 1000 мкВ. Были выявлены наличие влаги в изоляции, недостаточное сжатие обмотки, плохая обработка мест спайки соединений обмотки, недостаточное расстояние до бака (рис. 6-16), плохая пропитка маслом, недостаточное изолирование высоковольтных отводов (рис. 6-17), дефект в витковой изоляции в обмотке. В работе отмечается, что несмотря на значительные уровни частичного разряда при испытательном напряжении, во многих дефектных трансформаторах при напряжении, близком к рабочему или незначительно превышающем его, уровень частичного разряда не превышал 100 мкВ.

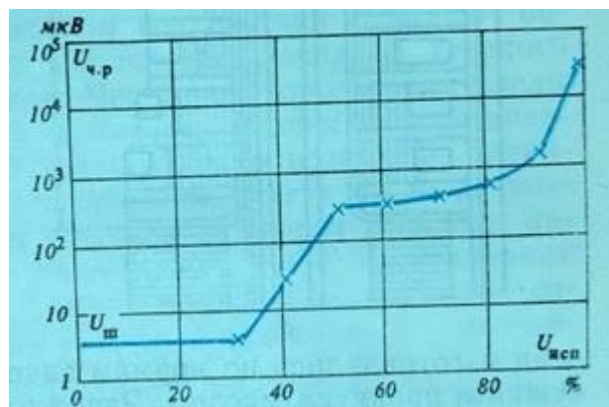


Рисунок 9 – Результаты испытания трансформатора на ч.р. с плохой пропиткой маслом.

Пробой масляного канала в маслобарьерной изоляции представляет собой частичные разряда интенсивностью порядка $10^{-7} - 10^{-5}$ Кл.

Определение длительной электрической прочности маслобарьерной изоляции наталкивается на значительные трудности. Это связано с тем, что электрическая прочность этой изоляции весьма слабо снижается с

увеличением длительности воздействия. В связи с этим незначительное снижение напряжения выдержки приводит к резкому увеличению времени выдержки до пробоя.

На рис. 10 [10] приведена зависимость относительно значения повреждающего напряжения от длительности воздействия, получения на моделях маслосборной изоляции типа МБИС (рис. 6-8, а) и МБИК (рис. 6-8, б). Как следует из этого рисунка, снижение напряжения выдержки на 10 – 15 % ниже одноминутного пробивного напряжения приводит к увеличению времени выдержки до пробоя (срока службы) от 1 минут до 100 часов. При сроках службы от 10^{-1} с до десятков минут пробой канала не подготавливается предварительными частичными разрядами с интенсивностью менее 10^{-7} Кл. на участке от десятков минут до 100 часов в ряде случаев при выдержке моделей в течение 10^4 - 10^5 с был отмечен рост интенсивности частичные разряды в процессе выдержки.

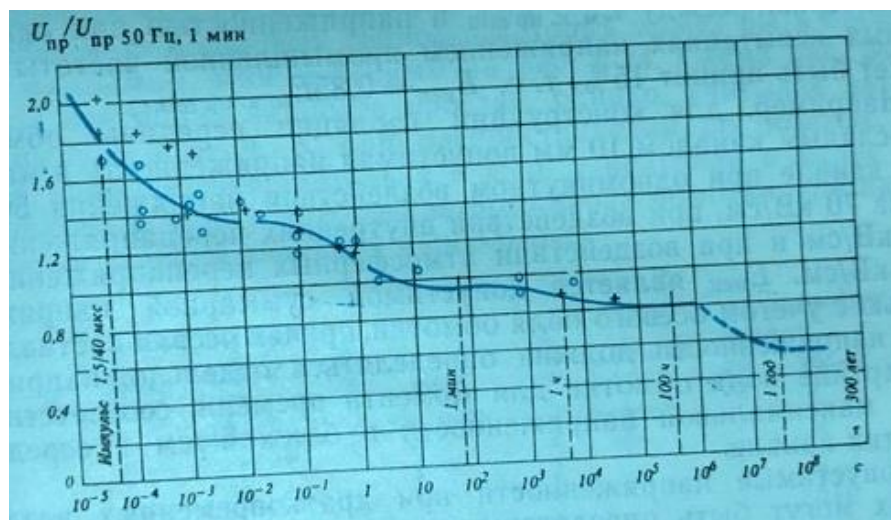


Рисунок 10 – Зависимость относительной повреждающей напряженности от длительности воздействия.

В маслонаполненных кабелях при правильном выполнении технологии сушки и пропитки газовые включения отсутствуют, так как оставшееся небольшое количество газа должно полностью раствориться в пропитывающем составе (кабельном масле). Частичный разряд в этом случае

возникают вследствие пробоя масляных прослоек. Электрическая прочность прослоек масла существенно зависит от толщины этих прослоек, а также от давления. На рисунке - 1 приведена зависимость пробивной напряженности прослойки масла от толщины прослойки.

Зависимость прочности масляных прослоек от толщины Δ_m может быть представлена формулой

$$E_{\text{м.пр}} = \frac{a}{\sqrt[3]{\Delta_m}}, \quad (1.5)$$

где a – коэффициент, зависящий от частоты, сорта масла и от давления.

Зависимость напряженности в масляных прослойках, соответствующей критическим частичным разрядам, от толщины прослойки Δ_m имеет вид

Аппаратная бумажная-масляная изоляция является неоднородным слоистым диэлектриком. Ее макроскопическую структуру составляют слои пропитанной нефтяным маслом кабельной бумаги и масляные прослойки, заполняющие зазоры между слоями бумаги.

В зависимости от назначения в конструкциях с бумажно-масляной изоляцией применяются два варианта исполнения изоляционного слоя: 1) листовой, или рулонный, когда слой изоляции выполняется из сплошных листов (рулонов) бумаги; 2) ленточный, когда слой изоляции состоит из лент или полос бумаги.

Листовая, или рулонная изоляция чаще всего применяется в проходных изоляторах, длина которых не превышает ширины бумажных рулонов.

Ленточная изоляция применяется для наложения на изолируемые элементы сложной конфигурации, особенно в местах изгибов с малыми радиусами, а также, когда размеры изолируемых элементов превосходят ширину бумажных рулонов, выпускаемых промышленностью. В частности, она применяется в некоторых типах трансформаторов тока и проходных изоляторов.

Бумажная лента накладывается на изолируемые части последовательными слоями, как правило, по спирали с положительным перекрытием, причем это перекрытие должно быть не менее половины шага намотки (полнахлеста). Ширина ленты может изменяться: для узких лент, применяемых чаще всего в трансформаторах тока, от 12 до 30 мм и для широких лент, применяемых в проходных изоляторах, - от 120 до 180 мм.

Размеры масляных прослоек в листовой изоляции зависят в основном от плотности прилегания листов бумаги друг к другу и к электродам.

В ленточных слоях число и размеры масляных прослоек зависят от толщины бумаги, степени перекрытия и плотности намотки. При положительном перекрытии в изоляции образуются масляные прослойки у края лент. Толщина этих прослоек при идеально плотной намотке не меньше толщины бумажной ленты. Помимо масляных прослоек в местах зазоров у края лент, прослойки образуются между прилегающими друг к другу поверхностями ленты за счет неизбежных неплотностей при намотке.

Начальные частичные разряды в бумажно-масляной изоляции аппаратов, так же как и в изоляции силовых трансформаторов, возникают вследствие пробоя масляных пленок, так как в хорошо высушенной и пропитанной минеральным маслом бумажной изоляции нет пузырьков воздуха или какого-либо другого газа. При переменном напряжении напряженность в масляной прослойке выше, чем бумаге [см. формулу (1.6)]. Отличие напряженности в масляной прослойке E_m от средней E_{cp} зависит от соотношения между толщинами масляной прослойки и слоя бумаги[1].

$$\frac{E_m}{E_{cp}} = \frac{1 + d_M / \delta_6}{d_M / \delta_6 + \epsilon_M / \epsilon_6}, \quad (1.6)$$

где d_M – толщина масляной прослойки;

δ_6 – толщина листа бумаги.

Обычно для листовой изоляции $d_M \ll \delta_6$ и, следовательно,

$$\frac{E_m}{E_{cp}} = \frac{\epsilon_6}{\epsilon_M} \approx 1,7. \quad (1.7)$$

Для изоляции аппаратов, выполняемой лентами бумаги, накладываемыми в полнахлеста, $d_M \approx \delta_6$ и лишь нарушение в технологии изготовления может привести к появлению больших масляных прослоек. При $d_M = \delta_6$ имеем

$$\frac{E_m}{E_{cp}} = \frac{2\varepsilon_6}{\varepsilon_M + \varepsilon_6} \approx 1,3. \quad (1.8)$$

В аппаратной ленточной изоляции, так же как и в кабельной изоляции, толщина масляной прослойки d_M тем меньше, чем меньше толщина бумаги δ_6 . Так как пробивная напряженность масла растет с уменьшением толщины прослойки, то изоляция из более тонкой бумаги имеет более высокую напряженность частичного разряда.

Критические частичные разряды в бумажно-масляной изоляции возникают, когда интенсивность газовыделения за счет частичного разряда превосходит интенсивность газопоглощения. Если воздействие критических частичных разрядов было достаточно кратковременным, например при перенапряжениях, и во время дальнейшей работы частичного разряда не происходят, или изоляция не находится под напряжением, то образовавшиеся газовые включения растворяются в масле и напряжение частичного разряда восстанавливается. Если количество газовых включений ограничено (не превосходит 8 - 10% от объема масла), то изоляция может полностью восстановить свои характеристики.

В изоляционном материале из присутствующей в нём полости образуется древовидная структура – триинг. В ветвях триингов развиваются частичные разряды. Под действием электрического поля и разрядов, триинги увеличиваются в размерах и количестве, тем самым повышая степень деградации полимерного материала.

Поскольку для возникновения частичного разряда в газовой среде требуется напряжение более низкое, чем для какого же эффекта в жидкости или в твёрдом постороннем включении, то наличие таких дефектов в изоляции может стать наиболее вероятной причиной начала разрушения этого

материала. Это происходит в результате того, что в полости, заполненной газом напряжённость электрического поля выше, чем в твердом или жидком участке и электрическая прочность газовой среды имеет более низкое значение, чем другие фракции изоляции.

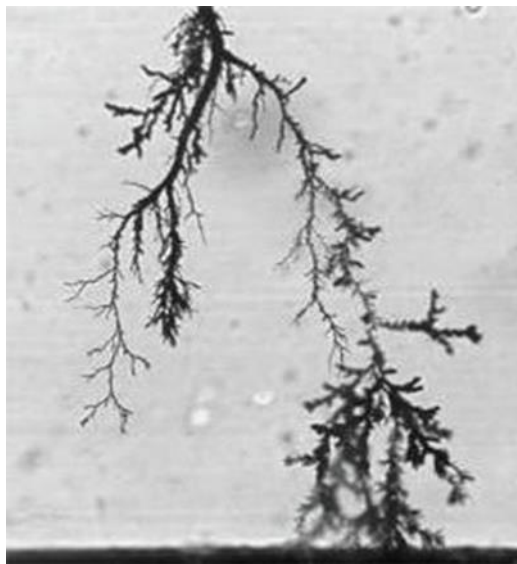


Рисунок 11 – Вид триинга

Триинги электрического происхождения образуются при воздействии переменного и импульсного напряжения, а также при очень высоких его значениях. В процессе работы оборудования эти величины не вызывают немедленного пробоя изоляции, но могут спровоцировать ионизацию газа в неоднородностях. Если в структуре материала нет достаточно больших по размеру полостей, дендриты могут развиваться сравнительно продолжительное время.

Наличие пузырьков увеличенных размеров приводит к возникновению частичных разрядов при работе кабеля на номинальном напряжении. Водные триинги образуются при попадании влаги внутрь изоляции в результате диффузии или через микротрещины в материале. При конденсации влаги во включениях, здесь образуются дендриты, после чего начинается их интенсивное образование и рост за счёт появления дополнительных пустот. Это приводит к снижению электрической прочности диэлектрика и к пробоям кабеля. К основным причинам деградации изоляции относятся как

электрическое старение из-за частичных разрядов, протекающих во включениях при перенапряжении и в номинальном рабочем режиме, так и тепловое старение материала. Под воздействием частичных разрядов запускается процесс разрушения изоляции, размер поражённой области увеличивается. Условия возникновения частичных разрядов зависят от формы электромагнитного поля изоляционной конструкции и электрических свойств конкретной зоны материала. Частичные разряды обычно не приводят к пробое изоляции, однако являются причиной изменений строения диэлектрика, но при достаточно долгой работы системы могут стать причиной сквозного пробоя диэлектрического слоя. Их возникновение всегда свидетельствует о местной неоднородности диэлектрика. Дефективность конструкции изоляции можно судить от характеристики частичного разряда. Наибольшую опасность они представляют при работе оборудования на переменном и импульсном напряжении.

При длительном приложении напряжения в кабелях с пластмассовой изоляцией возможно возникновение ветвистых побегов – дендритов, - постепенно развивающихся от одного электрода к другому и приводящих к пробое изоляции полиэтиленовых кабелей.

Дендриты зарождаются в местах с повышенной неоднородностью электрического поля. Дендриты имеют повышенную проводимость и приводят к прогрессирующему разрушению диэлектрика. В ряде случаев причинами зарождения дендритов являются частичные разряды, развивающиеся в газовом включении в толще изоляции. в других случаях причинами являются инородные включения, по структуре сходные с полиэтиленом, но более темного цвета. Размеры включений, наблюдаемые на срезах изоляции кабелей, составляют сотые доли миллиметра. Эти включения могут вноситься как вместе с гранулами полиэтилена, так и в процессе производства кабелей.

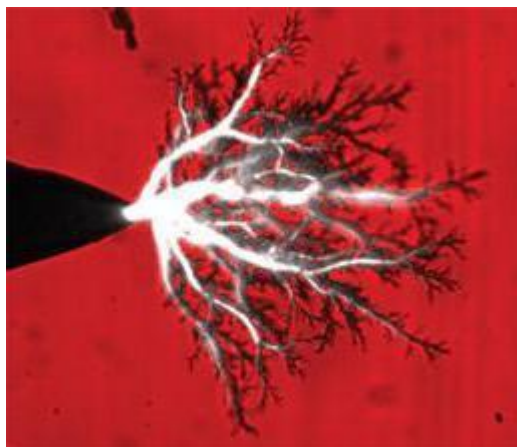


Рисунок 12 – Срез изоляции полиэтиленовых кабелей с дендритом

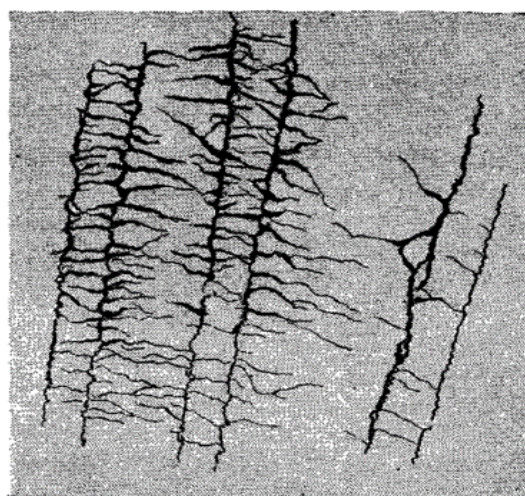
Количество включений может колебаться от 0,1 до 100 включений в 1 см³ изоляции кабелей. В некоторых случаях не удается установить наличия каких-либо изменений в изоляции кабелей и в месте зарождения дендрита. В этом случае причиной зарождения дендритов могут явиться разряды, возникающие в микротрещинах размерами 1 мкм, расположенных на границах сферолитов, или механически перенапряженных молекулярные связи.

Строение дендрита зависит также от его расположения в изоляции кабелей[11,12]. Если дендрит расположен вблизи одного из электродов, то он развивается в виде одного куста. Дендриты толще изоляции состоят в ряде случаев из двух кустов, соединенных вместе стволами и направленных в противоположные стороны.

Общий срок службы изоляции кабелей определяется суммой двух времен: временем зарождения дендрита и временем развития дендрита. Время зарождения дендрита определяется максимальной напряженностью электрического поля в месте возникновения неоднородности.

1.3 Ползущий разряд как один из путей развития ЧР в многослойной изоляции

Более интенсивные частичные разряды на уровне $10^{-9} - 10^{-8}$ Кл чаще всего возникают при пробоях масляной прослойки, узкого масляного клина или газовых пузырей с диаметром более 1мм. Такие повторяющиеся пробои вызывают обильное газовыделение и развитие частичного разряда вдоль поверхностей картона или в его толще. При этом возможно появление сильно разветвленного обугленного канала по поверхности или в толще электрокартона, захватывающего большие поверхности (десятки квадратных дециметров) и получившего название «ползущего разряда». На рис. 6-22 приведена фотография изоляционной прокладки, находившейся в зоне развития такого разряда[1].



Следы развития ползущих разрядов на поверхности цилиндрического изолирующего барьера высоковольтного трансформатора.

Рисунок 13 – Следы развития ползущих разрядов

Ползущий разряд развивается, как правило, в узкой щели между двумя прижатыми друг к другу поверхности изоляционных деталей или в толще электрокартона между его слоями. Разрядный канал закорачивает узкий масляный зазор, например между выступающим переходом обмотанного

изоляцией провода и картонным цилиндром. Этот разрядный канал имеет высокую температуру, при которой может возникнуть обугливание картона вдоль канала. Его можно рассматривать как проводник, на конце которого поля и образуются новые пробои в масле, новое обугливание картона и т.д. весь процесс развивается длительно и имеет пульсирующий характер: при пробое нового участка возрастает ток, с ростом тока увеличивается падение напряжения в канале и падает напряжение на продвигающемся конце канала. При этом поле у конца ослабевает и пробои масла прекращаются. Соответственно уменьшается падение напряжения на обугленном картоне и вновь возрастает напряженность поля у конца канала разряда. Для продвижения образовавшиеся у конца канала за счет разложения масла. Энергия, переданная электронами стримера молекулам жидкости, расходуется в основном на увеличение кинетической энергии молекул жидкости, т. е. на повышение температуры. Когда последняя достигнет температуры кипения, произойдет местное вскипание жидкости и образование высоко проводящего канала лидера в газе (плазмы) с весьма малым падением напряжения. Такой канал ограниченной длины вызывает резкое увеличение напряженности поля у его границы и возникновение более интенсивных скользящих разрядов по поверхности изоляционного барьера. Там, где канал разряда, имеющей высокую температуру, касается поверхности изоляционного барьера (электрокартона, изоляционной бумаги), масло, пропитывающие картон или бумагу, испаряется и образуются белые побеги, исчезающие вскоре после прекращения разряда.

Если энергия, выделяющаяся в канале разряда, достаточно велика, то температура канала может достигнуть 2-3 тыс. градусов, в результате чего на поверхности изоляции, по которой развивается разряд, возникают обуглившиеся следы в виде ветвистых черных побегов.

1.4 Физические методы и технические способы диагностик ЧР. Сложности обнаружения ЧР.

Измерение процессов, происходящих при возникновении частичных разрядов необходимо для получения возможности предотвращения пробоя изоляции и максимального снижения их интенсивности в изолирующих материалах. В связи с использованием изоляции из сшитого полиэтилена в конструкциях силовых кабелей, электроэнергетического оборудования, высоковольтных трансформаторов, воздушных линий электропередачи, необходимо постоянно вести контроль частичных разрядов, влияющих на безопасность их эксплуатации.

Необходимо проводить проверки состояния изолирующего материала в процессе эксплуатации, чтобы выявлять развивающиеся разрушения и предотвращать аварийные отказы из-за частичных разрядов на оборудовании. Для контроля степени дефектности изоляции высоковольтного оборудования существуют:

- Испытания повышенным напряжением, равноценным по величине его возможному увеличению во время работы. Это необходимо для установления значений электрической прочности изоляции при кратковременных повышениях напряжения.
- Неразрушающие методы испытаний для определения ресурса времени её эксплуатации.

Это дает возможность провести достоверную диагностику на работающих оборудовании, без вывода техники из эксплуатации, а, значит, исключение экономических потерь.

Существующие методы диагностики частичных разрядов позволяет обнаруживать дефект на ранних стадиях его развития и предотвратить дорогостоящие ремонты или замену вышедшего из строя оборудования.



Рисунок 14 – Диагностика электрических машин на повреждения изоляции.

Некоторые методы позволяют локализовать область дефекта, и подлежать ремонту будут только повреждённые участки изоляции.

При испытаниях оборудования высоким напряжением, качество изоляции ухудшается в результате воздействия напряжений в несколько раз превосходящих рабочие значения.

Диагностические методы обнаружения частичного разряда позволяют наиболее точно оценивать степень остаточной работоспособности оборудования без оказания разрушающего действия на его изоляцию. Диагностика частичных разрядов при эксплуатации затрудняется тем, что обычно вокруг проверяемого объекта находится другое оборудование, которое является источником помех. Эти сигналы могут не отличаться по параметрам от сигналов нужного объекта, так как могут быть тоже частичными разрядами.

Поэтому, для разделения сигналов помех и измеряемого частичного разряда, нужно сначала измерить сигналы помех при отключенном напряжении на тестируемом объекте, а потом произвести замер на нём в рабочем режиме.

В этом случае будет регистрироваться сумма сигналов частичного разряда и фона.

Разность результатов этих измерений покажет значение сигнала частичного разряда.

Полученные характеристики позволяют оценить характер дефектов и самого разряда.

Метод частичных разрядов не наносит вреда изоляции и широко используется, поскольку в процессе проверки не используется повышенное напряжение, отрицательно влияющее на изоляцию.

Электрический метод разрядов

Метод требует наличие контакта измерительных приборов с изоляцией. Он позволяет определять большое количество характеристик частичного разряда. Это наиболее точный из всех методов измерения частичных разрядов.

Акустический метод регистрации

Этот метод основан на использовании микрофонов, принимающих звуковые сигналы работающего оборудования. Датчики устанавливаются в комплексных распределительных устройствах и другом электроэнергетическом оборудовании и работают дистанционно.

Недостаток: частичные разряды небольшой величины не фиксируются.

Электромагнитный или дистанционный метод

Обнаружение частичных разрядов при использовании метода сверхвысоких частот является простым и эффективным процессом. Для этого применяется антенное устройство направленного действия. Недостаток этого метода – невозможность измерения величин разрядов.

Мощные силовые трансформаторы являются частями энергосистем, и вблизи них установлено высоковольтное оборудование, в котором могут существовать частичные разряды. Сигналы от них различными путями поступают на контролируемый трансформатор. Если к трансформатору подключены воздушные линии электропередачи, подвергающиеся грозовым разрядам, то сигналы от них будут регистрироваться при измерении характеристик частичного разряда в изоляции трансформатора. При нахождении трансформатора на открытой подстанции, на его наружных токоведущих частях периодически, в зависимости от температуры, влажности

и других факторов, возникают коронные разряды. Изменение нагрузки и наличие в трансформаторах устройств, регулирующих их параметры во время работы, например, устройств, регулирующих работу под нагрузкой, приводит к изменению характеристик частичных разрядов, которые могут снижаться или увеличиваться. Все перечисленные факторы приводят к тому, что многие измерения на трансформаторах могут показывать искажённую картину состояния изоляции. На показания, снятые с испытуемого трансформатора будут накладываться импульсы помех от работы находящегося рядом оборудования. В таких случаях нужно использовать правильно подобранную методику измерений, чтобы исключить влияние помех на полученные данные по частичным разрядам в трансформаторах.

1.5 Современные технологии контроля ЧР в высоковольтных вводах конденсаторного типа. Проблемы контроля ЧР в изоляции вводов. Пути повышения чувствительности и достоверности контроля ЧР. Анализ отечественного и зарубежного опыта.

В условиях эксплуатации для измерений ЧР во вводах используется схема измерений со съёмом сигнала через ПИН-вывод с необходимостью вывода трансформатора из работы для подключения схемы измерений ЧР. Указанный способ подключения рекомендуется [5] и заводскими инструкциями. Однако в соответствии с разработанными для АЭС МУ 1.3.3.99.0038-2009 «Диагностика силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и их вводов» разработана технология контроля ЧР в изоляции ввода без гальванического контакта с ПИН-выводом [8, 9]. Технология успешно используется для диагностики силовых трансформаторов и ШР в течение более 10 лет, она позволяет определить характеристики разрядных явлений, локализовать зону дефекта, определить дефектный узел трансформатора, включая ЧР в изоляции обмотки, искрения в пакете активной стали, ЧР во вводах и т.д. [4,5,6,7] База данных

основывается на многолетних периодических измерениях трансформаторов отечественных и зарубежных конструкций, в том числе диагностировались и вводы традиционных конструкций вводов, а также вводов и аппаратов с RIP изоляцией классов 800-364кВ. Кроме того следует указать, что измерения «Высокочастотной схемой» [5] компонент $E(t)$ и $H(t)$ электромагнитной волны, распространяющейся от зоны ЧР, позволяют получить информацию об элементарных явлениях при частичном разряде [6], в этом преимущества «Высокочастотной схемы» перед схемой по МЭК 270, а также в сопоставлении с «Ультра высокочастотной схемой» - UHF [7]. Последнее может быть полезным и для «завода», так как позволяет установить особенность дефекта (пузырек в монолите, отслоение изоляции от металла, пузырьки в силиконе).

В связи с внедрением в эксплуатацию вводов с RIP изоляцией возникла проблема проведения контроля ЧР в условиях эксплуатации без вывода трансформатора из работы, особенно это важно для трансформаторов АЭС, работающих на номинальной нагрузке с 18-месячным циклом. Последнее означает, что для контроля состояния вводов измерения ЧР должны выполняться без подключения к ПИН-выводу, с установкой датчиков на заземленных частях трансформатора в узле фланца ввода.

По этой причине основная задача настоящих измерений ЧР – это определение соотношения сигналов, измеряемых в мВ с критериальными величинами, определяемыми в условиях завода, в единицах кажущегося заряда (пКл). Инструментальное определение этих соотношений для нескольких типов датчиков в условиях завода и было целью данной работы. При этом необходимо выполнить тарировку для двух вариантов использования «Высокочастотной схемы»:

- а) при измерениях на колоколе трансформатора;
- б) в условиях, когда датчик установлен на фланце ввода.

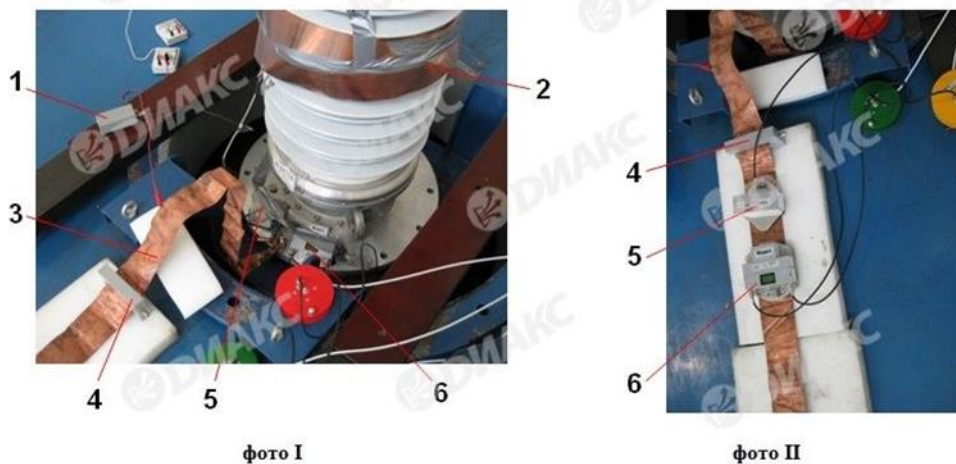


Рисунок 15 – Цепь имитации разряда в объекте испытаний:

1 – генератор наносекундных импульсов (10нс, 80В);

2 – градуировочный конденсатор (фольга).

Фото II – Размещение датчиков на фланце ввода (фото I): 3 – шина заземления; 4 – ВЧ трансформатор СТ-40; 5 – датчик магнитный ТМР-5; 6 – датчик ТМР-5N для компонент $E(t)$ и $H(t)$.

в) Размещение датчиков на шине (фото II): 4 – ВЧ трансформатор СТ-40;

5 – датчик магнитный ТМР-5; 6 – датчик ТМР-5N компоненты $E(t)$ и $H(t)$.

Основной причиной электрического старения изоляции конденсаторов при длительном приложении рабочего напряжения являются частичные разряды в изоляции.

Существование частичного разряда при относительно низких напряжениях, близких к рабочим, вызывает прежде всего разложение пропитывающего состава. Продукты разложения могут агрессивно взаимодействовать с клетчаткой, приводя к потере.

Размещение датчика на фланце ввода, а также результаты измерений ЧР для ввода с RIP изоляцией в условиях эксплуатации приведены на рис.10.

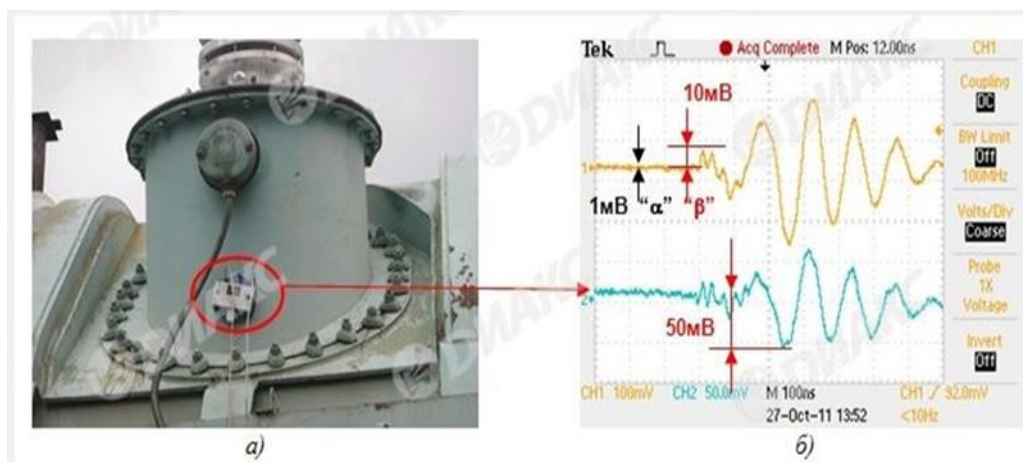


Рисунок 16 – Результаты практических измерений ЧР на вводе с RIP изоляцией на автотрансформаторе КУРАЭС:

а – расположение датчика TMP-5N на фланце ввода;

б – осциллограммы импульсов от ЧР при измерении по двум каналам: CH1 – E(t), CH2 – H(t), шумовая дорожка обозначена “а” и “б”.

По осциллограмме рис.10-б, для CH2 (датчик TMP-5N, H(t)) величина амплитуды $\sim 50\text{мВ}$. Это означает, что величина ЧР в данном вводе $\sim 50\text{пКл}$ (с учетом тарировки в разделе 2).

Определение чувствительности схемы измерения кажущегося заряда в условиях эксплуатации[2].

Определение чувствительности проводилось по анализу осциллограмм, при этом анализировались амплитуды шумовой дорожки и амплитуда импульса. На рис.10 в точках луча осциллограммы, участки шумовой дорожки обозначены “а” и “б”, т.о. амплитуды шумов $U_{ш}$:

на “а” - $U_{ш} \sim 1\text{мВ}$,

на “б” - $U_{ш} \sim 10\text{мВ}$.

Таким образом, так как $k_{тар} \sim 1\text{пКл/мВ}$, то чувствительность схемы измерения амплитуд импульсов от ЧР на трансформаторах вообще (не только на вводах) в условиях действующего ОРУ-750кВ в пределах 1-10пКл.

1.6 Технология импульсного дефектографирования. Метод НВИ. Результаты, полученные в ВЭИ.

Технология импульсного дефектографирования происходит так на одну из обмоток с помощью специального генератора подается зондирующий импульс, а к другой обмотке подключается осциллограф. В это время осциллограф показывает изменения обмотки. Значения снимаются несколько раз. Основа этого метода является последовательное дефектографирования. Похожий метод диагностики обмоток разрабатывалась в ВЭИ. Основой этого метода – использование импульса амплитудой - 85В длительностью 1мкс, фронт 0...100 нс.

Небольшая длительность позволяет повысить чувствительность метода за счет формирования отклика только в емкостных элементах системы.

Результатом служит – повышение достоверность измерений и точность постановки повреждения.

Преимущества этого метода.

- 1) Повышение общей чувствительности импульсного метода диагностики по оценкам можно увидеть смещения обмоток на 2...3%
- 2) Увеличение точности в постановке диагноза состояния активной части.
- 3) Определение характера дефекта (межвитковое замыкание, замыкание на землю и т. п.)
- 4) Определение степени развития дефекта.

Проведение моделирование показывает, что применение наносекундных импульсов может повысить точность и общую чувствительность метода. Анализ переходного процесса, формируемого базовым импульсом в емкостных элементах системы, позволит более точно выявлять возможные дефекты активных частей (осевые, радиальные, КЗ витки, замыкание витка на землю и т. д.)

Ссылаясь на диагностику трансформаторов в условиях эксплуатации показал, что достоверная оценка механического состояния обмоток трансформаторов возможна даже при отсутствии результатов первичного дефектографирования [5].

Эксперименты, выполненные на модели высоковольтной обмотки, продемонстрировали возможность выявлять электрические повреждения (коротко замкнутые витки).

Импульсный метод контроля состояния обмоток обеспечивает надежное выявление всех видов механических деформаций, а также распрессовку обмоток. Применение данного метода позволяет обнаружить повреждения обмоток даже в тех случаях, когда изменение сопротивления значительно меньше нормируемого значения 3%.

2. Экспериментальная часть

Основная цель проведения экспериментов описанных в данной главе состоит в исследовании принципиальной возможности контроля частичных разрядов (ЧР) в высоковольтной изоляции в режиме ON-LINE. За основу метода контроля ЧР, был принят импульсный метод контроля состояния обмоток трансформаторов, известный за рубежом как метод низковольтных импульсов (метод НВИ), а энергосистемах РФ как метод импульсного дефектографирования. Исследовались два пути контроля ЧР в зависимости от формы и способа получения импульса.

На первом этапе применялся прямоугольный импульс длительностью 520 и 260 нс, для получения которого использовался специальный генератор импульсов на основе схемы Введенского.

Второй этап исследований состоял в применении коммутационного импульса высоковольтной сети, для моделирования которого использовалась схема на основе импульсного конденсатора ИК-100-0,25.

Общая идея контроля ЧР в высоковольтной изоляции на основе импульсного метода состоит в подаче импульса на участок высоковольтной конструкции, содержащий ЧР и его одновременной регистрации электронным осциллографом. Сравнивая импульсы при наличии и отсутствии ЧР на исследуемом участке, а именно их амплитуду, форму и степень трансформации сигнала, можно сделать вывод о наличии ЧР.

Предлагаемая технология аналогична технологии импульсного дефектографирования применяемого для контроля состояния обмоток трансформаторов, в основе, которой лежит принцип последовательного сравнения сигналов снятых в ходе текущего и предыдущего измерений.

2.1 Контроль ЧР по прямоугольному импульсу

Данный подход предполагает подачу импульса прямоугольной формы на исследуемый участок изоляции находящийся под высоким напряжением через разделительный конденсатор и регистрации импульсного сигнала прошедший через участок содержащий ЧР.

Схема регистрации и внешний вид генератора импульсов приведены на рисунок – 2.1 и 2.2.

В ходе экспериментов применялись импульсы двух видов отличающихся длительностью – 520 и 260 нс соответственно. Ячейка, моделирующая ЧР, представляла собой латунное острие, вставленное в ячейку из органического стекла. От испытательного трансформатора на ячейку подавалось напряжение на уровне 6 кВ. Таким образом, был организован ЧР типа «незавершенное перекрытие» по поверхности органического диэлектрика. Зажигание и горение ЧР контролировалось визуально. Структурная схема измерений приведена на рисунке – 2.1.

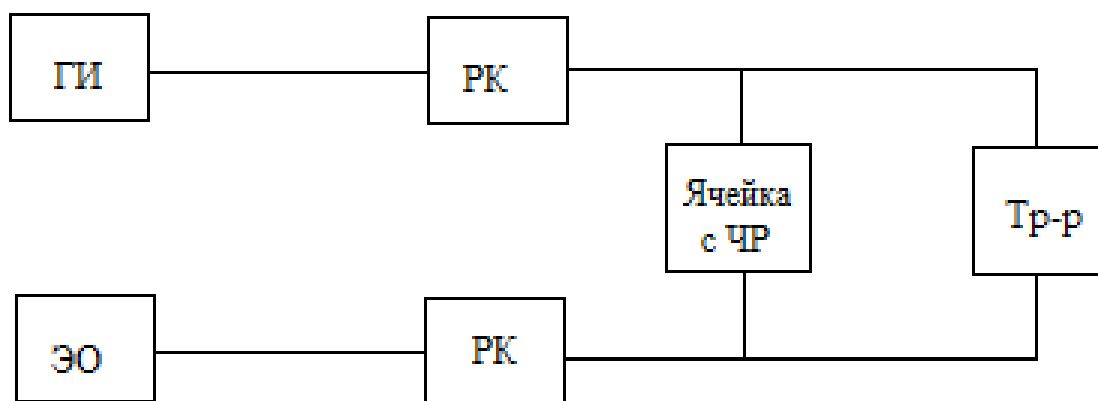


Рисунок 2.1 – Схема регистрации ЧР.

ГИ – генератор импульсов наносекундной длительности,

РК – разделительный конденсатор,

Тр-р – трансформатор обеспечивающий напряжение промышленной частоты на ячейке с ЧР,

ЭО – электронный осциллограф Tektronix TDS 1012.



Рисунок 2.2 – Внешний вид генератора для контроля ЧР.

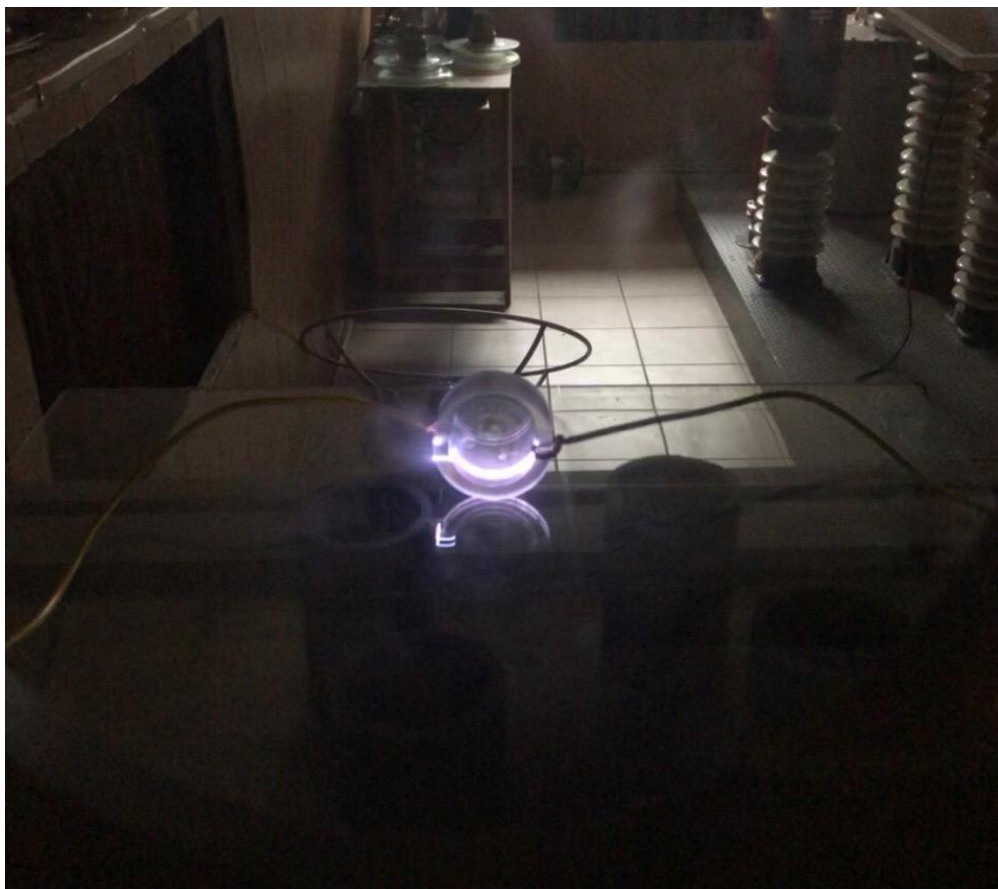




Рисунок 2.3 – Внешний вид ячейки с короной и перекрытием по поверхности.

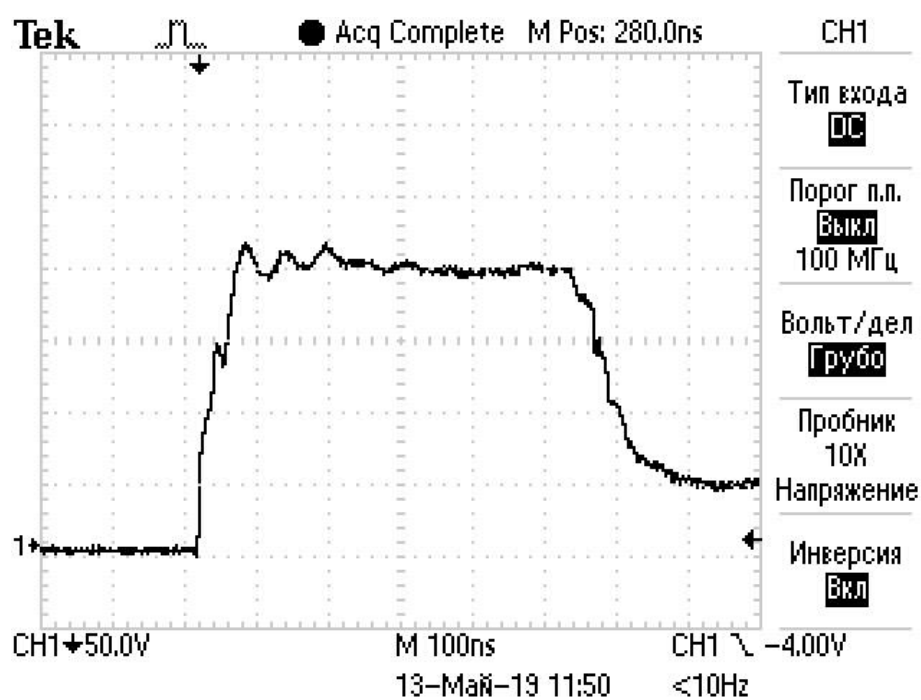


Рисунок 2.4 – Импульс длительностью 520 нс при отсутствии ЧР.

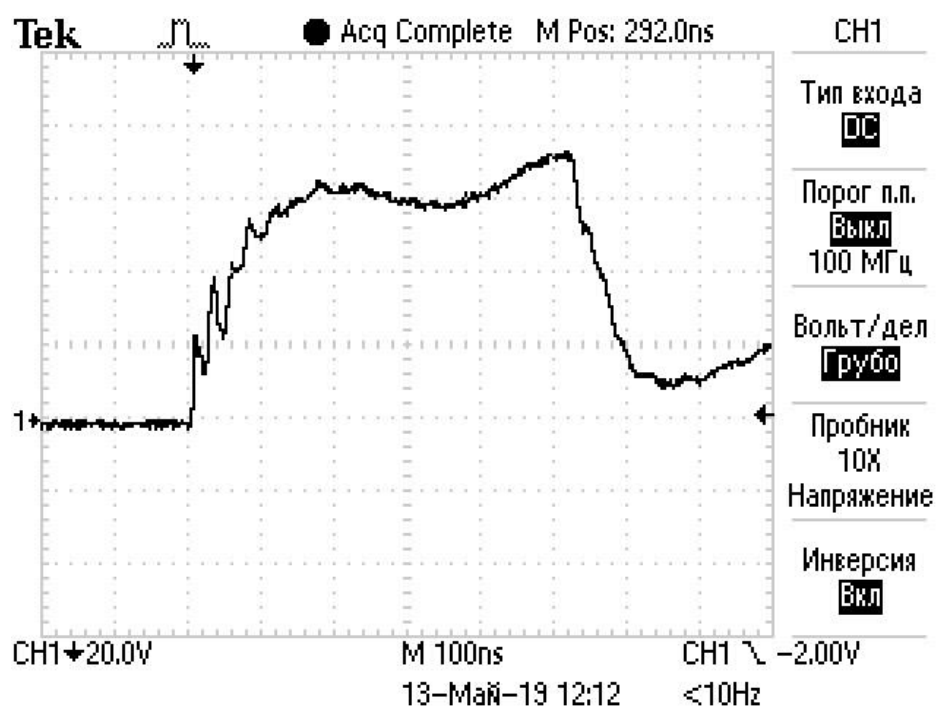


Рисунок 2.5 – Импульс длительностью 520 нс при наличии ЧР.

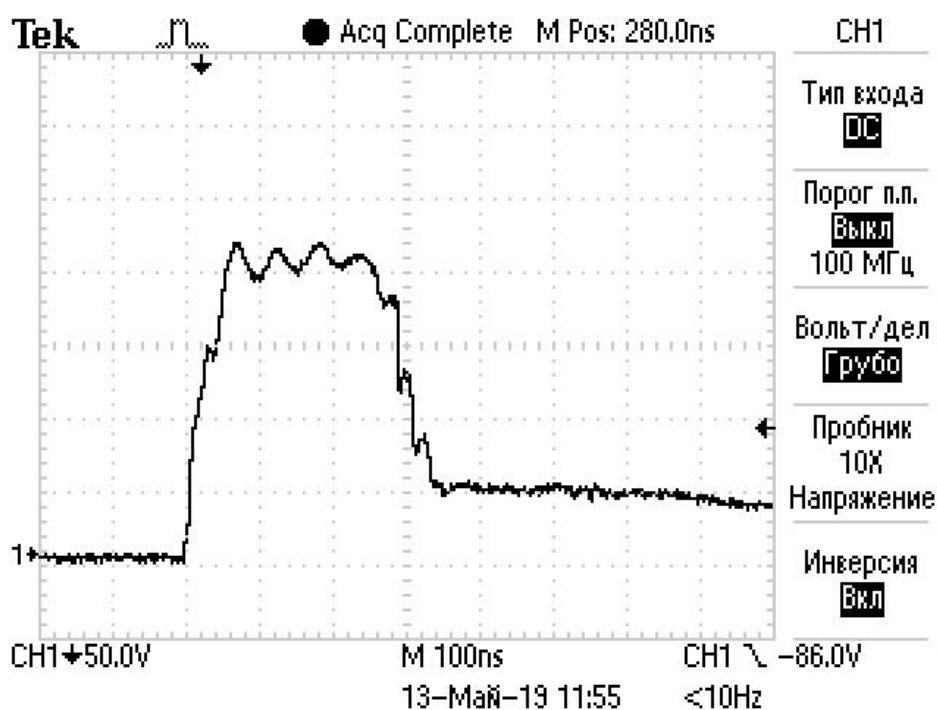


Рисунок 2.6 – Импульс длительностью 260 нс при отсутствии ЧР.

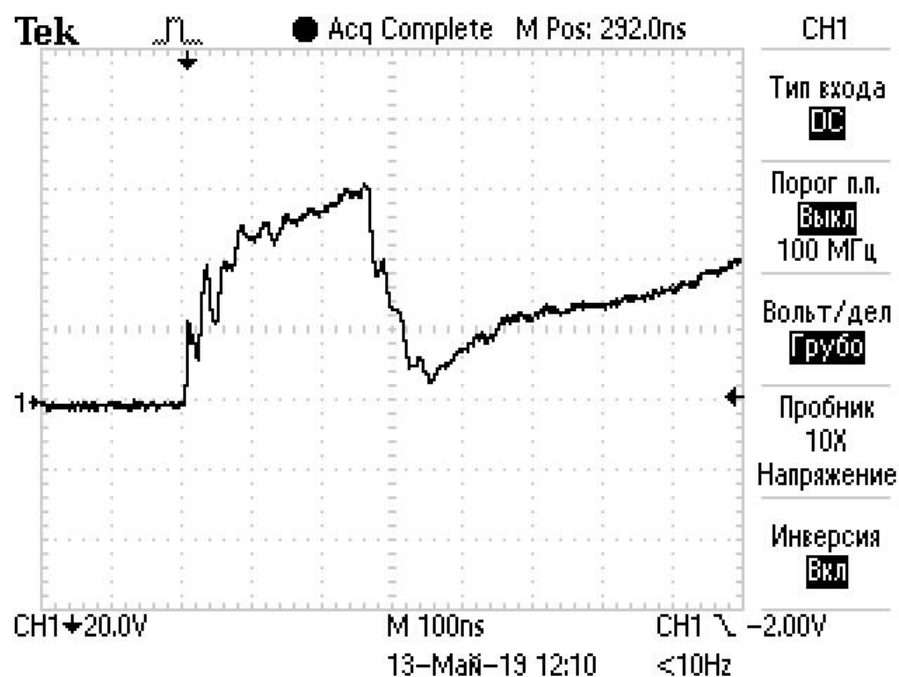


Рисунок 2.7 – Импульс длительностью 260 нс при наличии ЧР.

Таким образом, в ходе эксперимента установлено, что при отсутствии ЧР сигнал – отклик практически повторял форму импульса поступающего с генератора практически без искажений. Незначительные искажения обусловлены соединительными проводниками и паразитными индуктивностями схемы измерительного тракта (рисунок 2.4 и 2.6).

При наличии специально смонтированной ячейки содержащей область, в которой протекали ионизационные процессы, форма импульса существенно изменялась (рисунок – 2.5 и 2.7). Напряжение подавалось на ячейку с ЧР от однофазного испытательного трансформатора и составляло величину 5 кВ. ЧР в виде стримерной короны и незавершенного перекрытия фиксировался визуально. Деформация формы импульса от первоначальной формы к форме происходит под воздействием ЧР.

Наблюдаемая в экспериментах картина объясняется следующим образом. Физической основой подобной деформации прямоугольного импульса является взаимодействие ВЧ зондирующего импульса и высокочастотной составляющей в импульсе ЧР. Прямоугольный импульс на выходе генератора обогащен ВЧ сигналом в диапазоне от сотен кГц до единиц

МГц. Такой же частотный диапазон имеет спектр ЧР возникающий во внутренних дефектах высоковольтной изоляции под воздействием рабочего напряжения. Взаимодействие двух частотных спектров при прохождении импульса через участок, содержащий ЧР, приводит к деформации первоначальной формы импульса и к появлению характерных искажений наблюдаемых на рисунке – 2.5 и 2.7.

2.2 Контроль ЧР по коммутационному импульсу

Идея подхода для контроля ЧР описанная в предыдущем параграфе предполагает использование специального генератора прямоугольных импульсов с крутым (20 – 5 нс) фронтом. Использование разделительного конденсатора вносит некоторые неудобства, может вызывать помехи при измерениях. Кроме того, существует опасность пробоя схемы содержащей генератор импульсов и измерительный тракт под воздействием высокого напряжения. В этом случае генератор и измерительная схема оказываются под рабочим высоким напряжением сети, чего нельзя допускать ни при каких обстоятельствах.

Одним из путей решения указанных проблем может служить технология контроля ЧР по коммутационным импульсам. Известно, что коммутации – неотъемлемая часть процесса передачи и распределения электроэнергии. Использование коммутационного импульса сети в качестве «зондирующего» или «эталонного» позволит избежать дополнительных генераторов, а также защитных и согласующих элементов. К тому же в этом случае контроль ведется по определению в режиме on-line, что является одной из важнейших задач, которые ставит производство перед разработчиками новых технологии контроля высоковольтного оборудования.

Подобный метод применялся для контроля ЧР в изоляции машин постоянного тока и представляется довольно перспективным [13,14].

Схема контроля ЧР по коммутационным импульсам приведена на рисунок – 2.8.

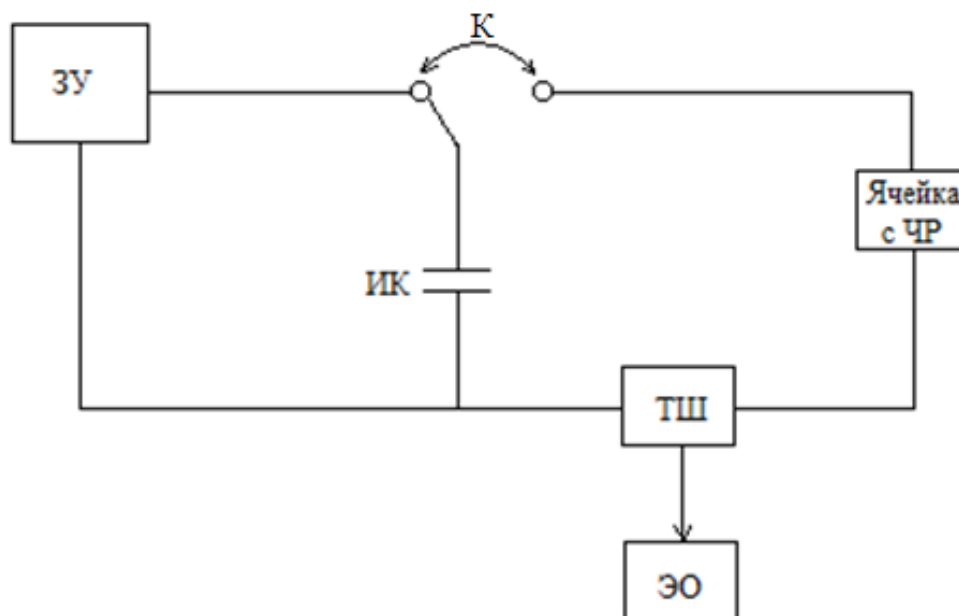


Рисунок 2.8 – Схема контроля ЧР по коммутационным импульсам.

где ЗУ – зарядное устройство,

ИК – импульсный конденсатор,

К – ключ, ТШ – токовый шунт,

ЭО – электронный осциллограф Tektronix TDS 1012.

Импульсный высоковольтный конденсатор ИК-100-0,25 заряжается от источника постоянного тока (ЗУ). Затем при достижении требуемого уровня зарядки (от 1 до 5 кВ) осуществлялась коммутация заряженного конденсатора на ячейку с ЧР. Ток в разрядной цепи измерялся специально сконструированным шунтом. Сигнал с шунта поступал на электронный осциллограф Tektronix TDS 1012. Форма и амплитуда сигналов без ЧР и с ЧР при различном напряжении анализировалась и сравнивалась между собой.



Рисунок 2.9 – Внешний вид стенда для исследования контроля ЧР по коммутационным импульсам.

В экспериментах использовались два типа предварительно сконструированных ячеек.

Ячейка первого типа моделировала тип ЧР «ионизационный процесс во внутреннем включении». Или «безэлектродный разряд в поре». В ячейке из органического стекла была организована пора, в которой при подаче высокого напряжения загорался ЧР. Возникновение ЧР регистрировалось визуально по характерному фиолетовому свечению внутри поры.

Фото ячейки приведено на рисунок 2.10 – 2.12.



Рисунок 2.10 – Внешний вид ячейки.



Рисунок 2.11 – Внешний вид стенда для контроля ЧР по коммутационным импульсам ячейкой № 1.

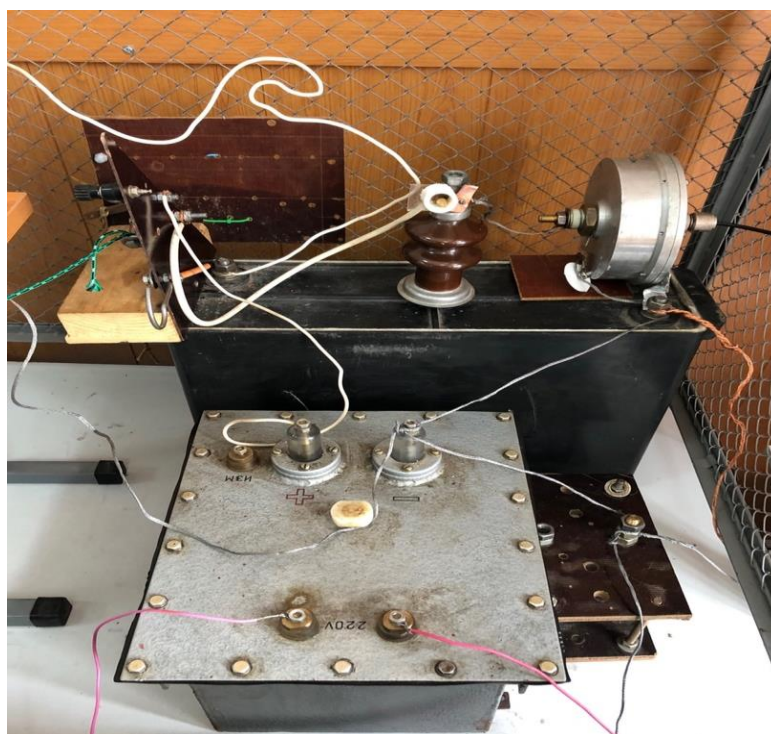


Рисунок 2.12 – Внешний вид стенда для контроля ЧР по коммутационным импульсам ячейкой № 2.

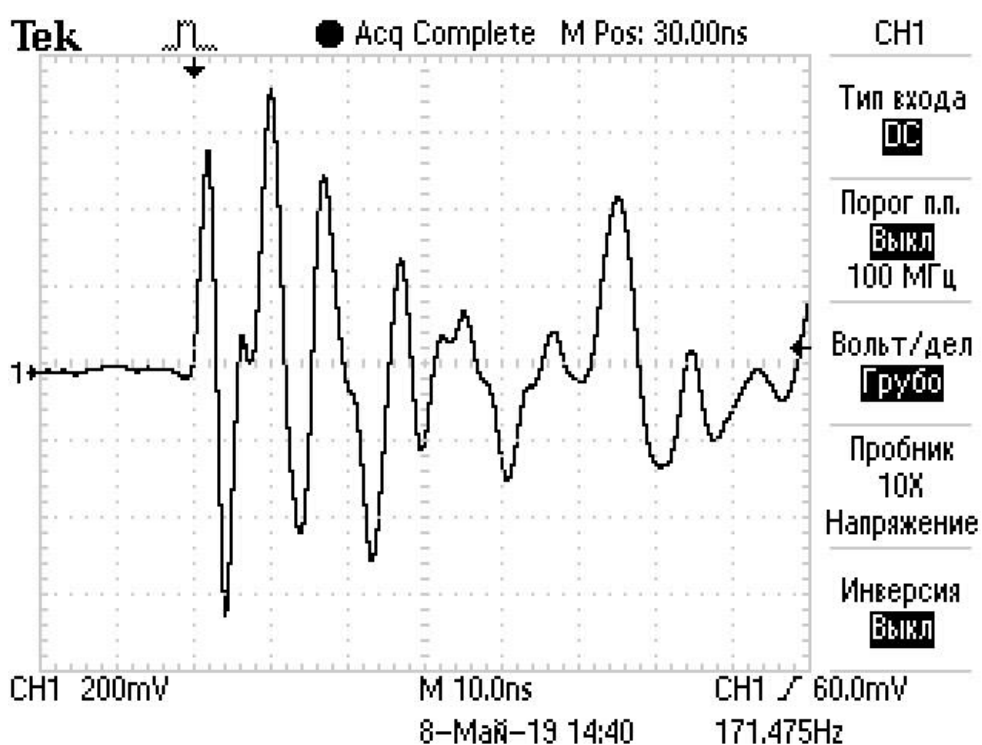


Рисунок – 2.13 Осциллограмма в отсутствии ЧР.

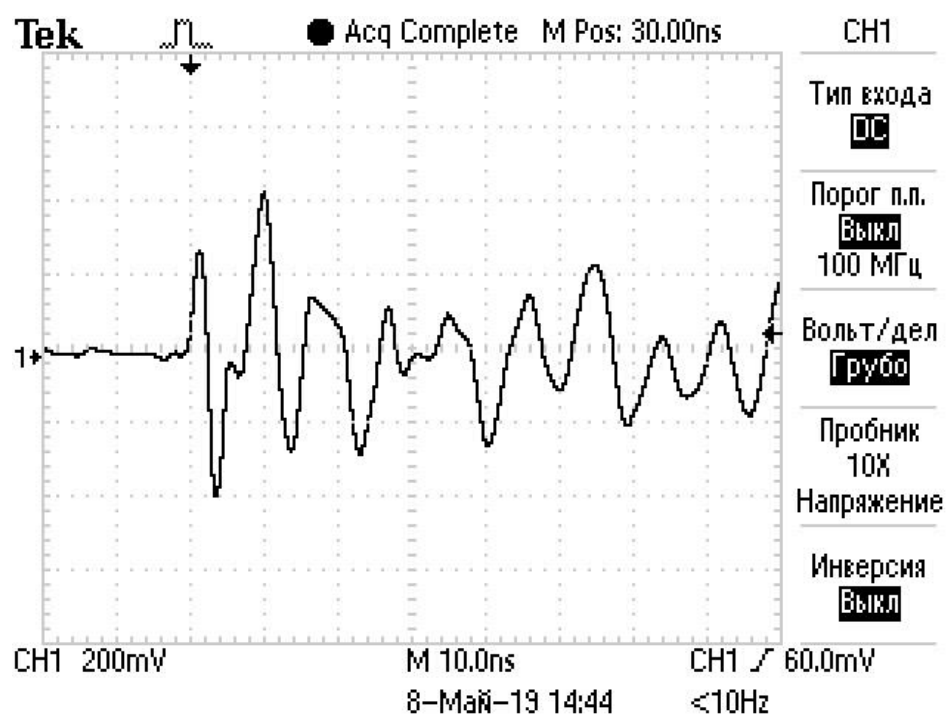


Рисунок – 2.14 Осциллограмма при наличии ЧР. Напряжение на ячейке 2 кВ.

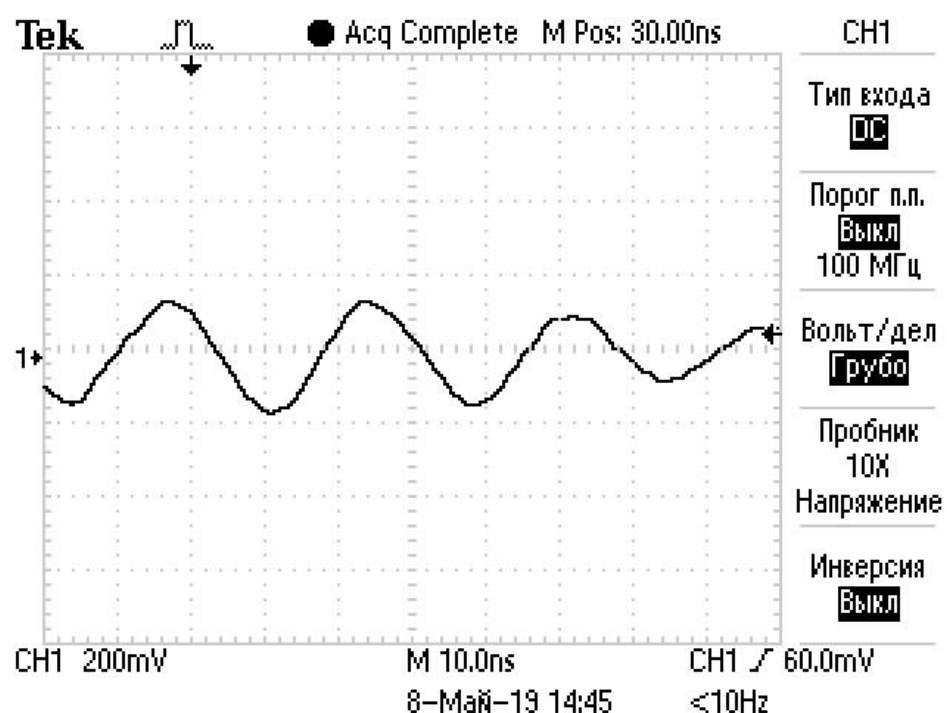


Рисунок 2.15 – Осциллограмма при наличии ЧР. Напряжение на ячейке 5 кВ.

Четко зафиксировано уменьшение амплитуды колебаний сигнала токового шунта пропорциональное интенсивности ЧР при прочих равных

параметрах измерительной системы. Уменьшение объясняется наложением на первоначальный сигнал тока ЧР, который растет по мере роста интенсивности ЧР и ослабляет исходный (при отсутствии ЧР) сигнал.

Ячейка второго типа моделировала тип ЧР «ЧР во внутреннем включении бумажно-масляной изоляции ввода конденсаторного типа». На стержень была намотаны слои конденсаторной бумаги с выравнивающими обкладками из тонкой алюминиевой фольги. Были изготовлены две одинаковых ячейки. В одной из них была сделана искусственная пора. Для приближения к реальной изоляционной конструкции внутренние слои ячейки были пропитаны трансформаторным маслом.

Внешний вид ячейки приведен на рис. 2.16:





Рисунок 2.16 – Внешний вид ячейки второго типа.

Осциллограммы при отсутствии и наличии ЧР различной интенсивности приведены на рис. 2.17 – 2.19:

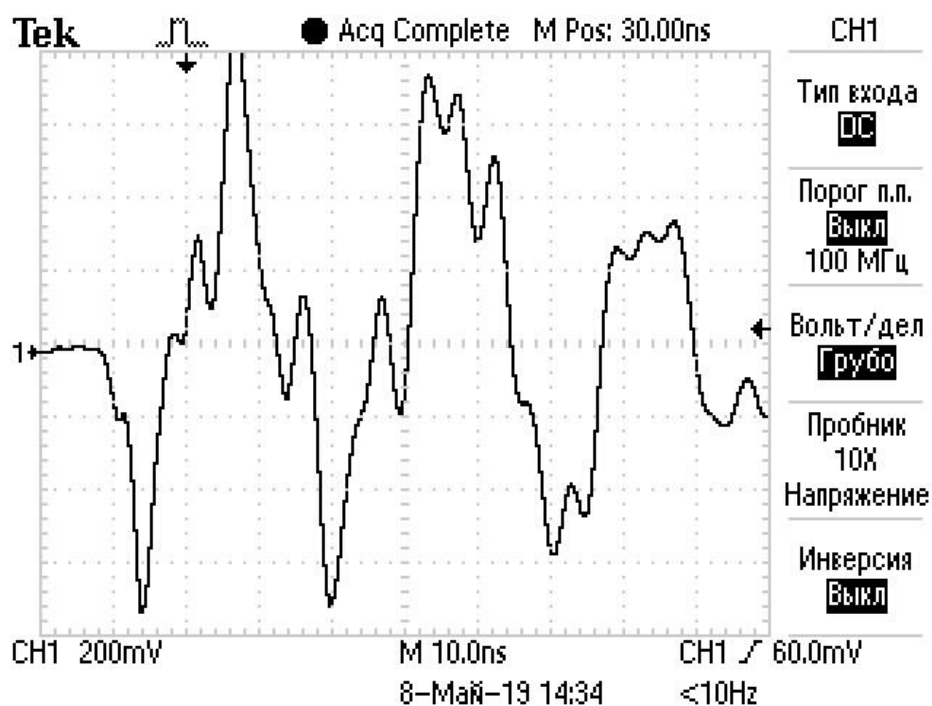


Рис. 2.17 Осциллограмма в отсутствии ЧР.

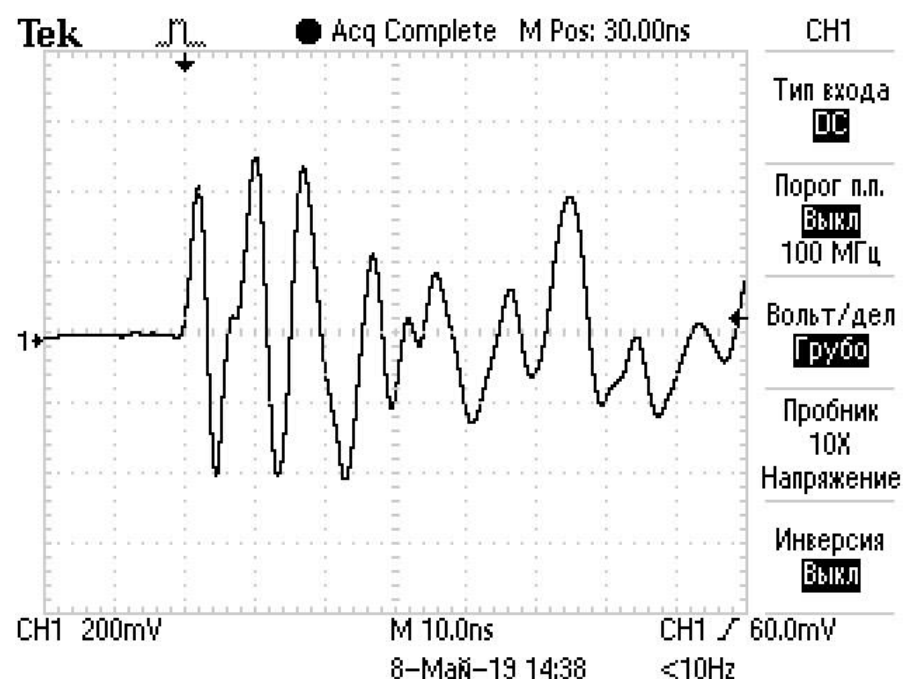


Рисунок 2.18 – Осциллограмма при наличии ЧР. Напряжение на ячейке 2 кВ.

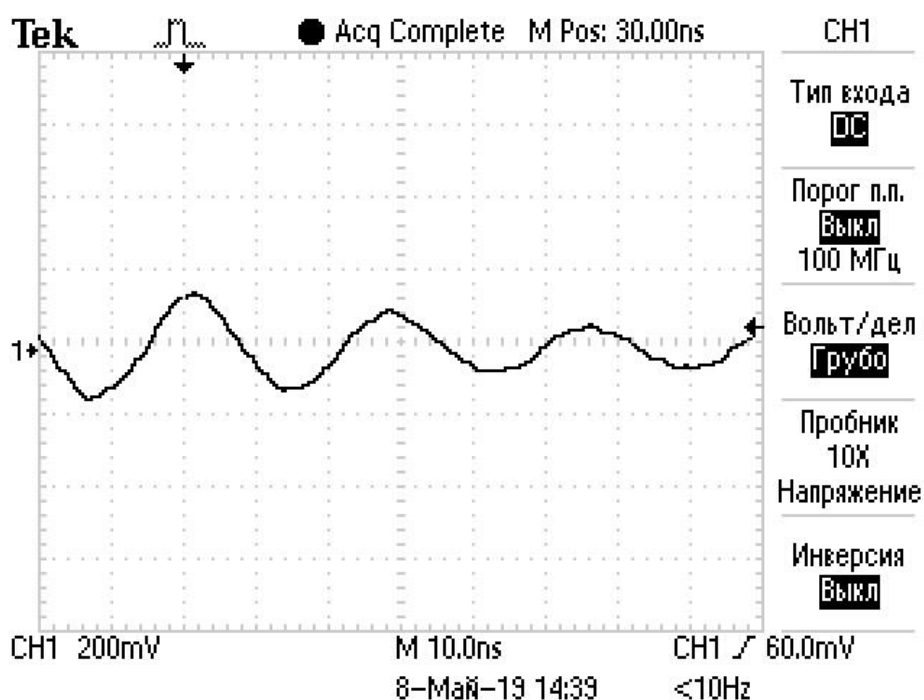


Рисунок 2.19 – Осциллограмма при наличии ЧР. Напряжение на ячейке 5 кВ.

В процессе измерений наблюдалось уменьшение амплитуды колебаний сигнала токового шунта пропорциональное интенсивности ЧР при прочих

равных параметрах измерительной системы. По нашему мнению, также как и в экспериментах с ячейкой № 1, уменьшение амплитуды токового сигнала объясняется наложением на первоначальный сигнал тока ЧР, который растет по мере роста интенсивности ЧР и ослабляет исходный (при отсутствии ЧР) сигнал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общий вывод по результатам проведенных и описанных выше экспериментов, заключается в том, что установлена принципиальная возможность контролировать ЧР в высоковольтной изоляции различного типа импульсным методом. Контроль ЧР можно проводить для ЧР различных видов – стримерная корона, ЧР в поре в остаточной атмосфере, ЧР во включении в бумажно-масляной изоляции конденсаторного типа.

Для контроля ЧР могут применяться, как прямоугольные импульсы, созданные специальным генератором, так и коммутационные импульсы высоковольтной сети. Критерием, по которому можно констатировать факт наличия ЧР является сокращение амплитуды сигнала тока в случае коммутационных импульсов. При использовании прямоугольных импульсов, критерием оценки наличия и степени развития ЧР является степень искажения первоначально прямоугольной формы зондирующего импульса пропорциональной интенсивности ЧР.

3. Финансовый менеджмент

3.1 Введение

Основной задачей технико-экономического расчёта является определение величины экономического эффекта от использования в общественном производстве основных и сопутствующих результатов, получаемых при решении поставленной задачи в данной диссертации.

Цель работы – разработка технологии мониторинга состояния обмоток силового оборудования с использованием коммутационных импульсов.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования реакции обмоток при наличии и отсутствии дефектного состояния на реальном трансформаторе НТМИ-6-66.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: высокая чувствительность, способность обнаруживать как электрические, так и механические дефекты на ранней стадии их развития и возможность использования метода без отключения от сети.

Эффективность диагностического комплекса определяется высокой чувствительностью к любым изменениям обмотки трансформатора

Своевременное обнаружение любого вида дефекта на ранней стадии развития в обмотках трансформатора, позволит существенно сэкономить денежные ресурсы во время замены или ремонта неисправной части оборудования.

3.2 Предпроектный анализ

Предпроектный анализ позволит установить соответствие интересов инвестора и участника. Необходимо произвести анализ рынка электроэнергетики в области диагностики силового электрооборудования,

также необходимо определить потребителей, дать оценку готовности проекта к коммерциализации.

Карта сегментирования рынка приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка

		Эксплуатанты и производители силового ЭО						
		Оптовые генерирующие компании (ОГК)	Территориальные генерирующие компании (ТГК)	Распределительные компании (РК)	Сетевые компании (СК)	Промышленность (крупная)	Мелкие производства	РЖД
Основное силовое ЭО	Генераторы	х	х			х		
	Трансформаторы	х	х	х	х	х		х
	Коммутационные аппараты	х	х	х	х	х		х
	Компенсирующие устройства			х	х	х	х	х
	Двигатели	х	х	х	х	х	х	х

Диагностика силового ЭО затрагивает многие сегменты, что и показывает нам карта сегментирования.

Совершенствование методов диагностики позволит улучшить контроль за состоянием силового ЭО и снизить затраты на эксплуатацию и ремонт. Это положительно повлияет на все сектора энергетики.

3.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет провести оценку эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты. Для сравнения выбраны следующие

методы: метод ЭГВ (в таблице 6 $B_{\text{Э}}$, $K_{\text{Э}}$), метод депарафинирования (в таблице 6 $B_{\text{ДП}}$, $K_{\text{ДП}}$), паровой метод (в таблице 6 $B_{\text{ППУ}}$, $K_{\text{ППУ}}$).

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\text{Э}}$	$B_{\text{ДП}}$	$B_{\text{ППУ}}$	$K_{\text{Э}}$	$K_{\text{ДП}}$	$K_{\text{ППУ}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Продолжительность проведения обработки	3/0,058	4	5	2	0,232	0,29	0,116
2. Технологическая простота	5/0,096	5	5	3	0,48	0,48	0,288
3. Радиус воздействия	4/0,077	4	5	3	0,308	0,385	0,231
4. Экологическая безопасность	3/0,058	5	5	4	0,29	0,29	0,232
5. Универсальность для разных типов коллекторов	4/0,077	5	5	4	0,385	0,385	0,308
6. Технологическая безопасность	5/0,096	5	5	3	0,48	0,48	0,288
7. Эффективность	5/0,096	5	5	4	0,48	0,48	0,384
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Затраты электроэнергии	4/0,077	4	5	2	0,308	0,385	0,154
2. Уровень проникновения на рынок	2/0,038	3	4	3	0,414	0,308	0,114
3. Стоимость проведения операции	5/0,096	5	4	4	0,48	0,384	0,384
4. Продолжительность эффекта после обработки	5/0,096	5	5	4	0,48	0,48	0,384
5. Финансирование научной разработки	3/0,058	2	5	1	0,116	0,29	0,058
6. Наличие сертификации разработки	4/0,077	5	5	5	0,385	0,385	0,385
Итого	52/1				4,838	4,891	3,326

По результатам экспертной оценки, метод ЭГВ является более конкурентоспособным, чем технология депарафинирования, однако уступает технологии очистки паром с мощностью ППУ ввиду низкого проникновения на рынок и недостатка источников финансирования.

3.4 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Анализ проекта сведем в таблицу 9.

Интерактивные матрицы проекта

Таблица 3 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
O1	-	+	-	+	+	+	-	+
O2	-	+	+	+	+	+	+	+
O3	0	+	0	+	+	+	-	+
O4	0	+	-	+	+	+	0	+

Таблица 4 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	+	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	-	-	-	-
O4	0	-	-	-

Таблица 5 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
T1	-	-	-	-	-	-	0	0
T2	-	0	-	-	-	0	0	0
T3	-	-	-	-	-	-	-	0

Таблица 6 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	+	0	0	0
T2	0	+	+	-
T3	0	+	0	+

Таблица 7 – Итоговая матрица SWOT

	Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	<p>S1. Техническая простота осуществления метода</p> <p>S2. Возможность обнаружения как электрических, так и механических повреждений</p> <p>S3. Использование коммутационных импульсов сети и отсутствие источников зондирующего сигнала</p> <p>S4. Возможность мониторинга состояния силового ЭО в режиме реального времени</p> <p>S5. Применимость метода к большей части используемого силового ЭО</p> <p>S6. Работа с действующим оборудованием, без снятия нагрузки и напряжения</p> <p>S7. Наглядность метода</p> <p>S8. Высокая чувствительность метода</p>	<p>W1. Отсутствие выработанной методики по определению конкретного вида повреждения (электрического или механического).</p> <p>W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации</p> <p>W3. Не проработаны вопросы использования инфраструктуры поддержки</p> <p>W4. Не проработаны вопросы выхода на международный рынок</p>

Продолжение таблицы 7

<p>Opportunities (возможности)</p> <p>O1. Увеличение числа аварий, связанных с техническим состоянием ЭО</p> <p>O2. Старение парка имеющегося силового ЭО и постепенная его замена на новое ЭО в энергосистемах</p> <p>O3. Требования к увеличению надёжности ЭС (ФСК ЕЭС)</p> <p>O4. Ужесточение требований к качеству выпускаемого силового ЭО (ГОСТ Р 53471-2009 и ГОСТ Р 52719-2007)</p>	<p>O1O2O3O4S2S4S5S6S8 – использование технологии для диагностики имеющегося на предприятиях оборудования с целью увеличения надёжности и снижении аварийности энергосистем</p> <p>O2S3S7 – использование технологии для диагностики нового или производимого оборудования для улучшения качества выпускаемой продукции</p>	<p>O1O2W1 – проработать методику определения конкретного вида повреждения</p>
<p>Threats (угрозы)</p> <p>T1. Незаинтересованность крупных энергокомпаний</p> <p>T2. Отсутствие заинтересованных инвесторов проекта</p> <p>T3. Отсутствие спроса на технологию</p>		<p>T1W1 – заинтересовать компании проработанной методикой диагностики ЭО</p> <p>T2W2W3 – разработать бизнес-план коммерциализации и использовать инфраструктуру НИ ТПУ</p> <p>T3W2W4 – использовать рекламу</p>

3.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим готовность проекта к коммерциализации, заполнив соответствующую таблицу.

Таблица 8 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1. Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2. Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
3. Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4. Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5. Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6. Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7. Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8. Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9. Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10. Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
11. Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12. Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13. Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	1

Продолжение таблицы 8

14. Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	5
15. Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
ИТОГО БАЛЛОВ	45	47

По суммарным значениям баллов $B_{\text{СУМ}} = 47$ можно сказать, что проект обладает перспективностью выше среднего. Значение позволяет говорить о готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.

Тем не менее, произведенная оценка готовности научной разработки требует дальнейшего совершенствования проекта и более глубоких исследований в области маркетинга.

3.6 Виды коммерциализации

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Для данной разработки наиболее подходит инжиниринг, т.е. комплекс инженерно-консультационных услуг коммерческого характера по подготовке и обеспечению непосредственно процесса производства, обслуживанию сооружений, эксплуатации хозяйственных объектов и реализации продукции.

Возможна следующая схема коммерциализации: между НИ ТПУ и предприятием-заказчиком инжиниринговых услуг заключается хозяйственный договор. Исполнитель предоставляет аппарат, собранный на средства предприятия-заказчика с использованием производственной базы НИ ТПУ, и услуги диагностики для предприятия-заказчика.

В рамках инициации определяются цели и содержание проекта, определяется объем финансирования.

Определим заинтересованные стороны и их ожидания, результат сведем в таблицу 9.

Таблица 9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Реализация проекта, получение гранта
Исполнитель проекта	Получение степени магистра
НИ ТПУ	Привлечение средств хозяйственных договоров, рост средней оплаты труда, рост рейтинга НИ ТПУ
Предприятия	Рост эффективности производства, качественное техническое обслуживание оборудования

Определим цели и результаты проекта, сведя их в таблицу 12.

Таблица 10 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Проанализировать возможность использования коммутационных импульсов для мониторинга состояния изоляции силового ЭО.
Ожидаемые результаты проекта:	Отличия между нормограммами и дефектограммами, позволяющие выявить повреждение изоляции
Критерии приемки результата проекта:	Возможность обнаружения электрических и механических дефектов в обмотках при помощи коммутационных импульсов. Определение вида дефекта. Высокая чувствительность. Упрощение процесса диагностики.
Требования к результату проекта:	Повышение эффективности и чувствительности диагностики
	Упрощение диагностики силового ЭО

3.7 Организационная структура проекта

Исполнителей и их роли в создании проекта сведем в таблицу 11.

Таблица 11 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1. Мытников Алексей Владимирович НИ ТПУ <i>Доцент, к.т.н.</i> <i>ЭЭС</i>	Руководитель проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов. 2. Проведение экспериментов	320
2. Мытников Алексей Владимирович НИ ТПУ <i>Доцент, к.т.н.</i>	Эксперт проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов.	52
3. Токтарбаев Магжан Калмуратович НИ ТПУ <i>Студент группы</i> <i>5AM72</i>	Исполнитель проекта	1. Подготовка и проведение экспериментов. 2. Анализ результатов экспериментов. 3. Анализ имеющихся технических решений и результатов.	980
ИТОГО:			1352

3.8 Планирование научно-технического проекта

Особенность НИР в энергетической области это ее неповторимость, сложность и уникальность.

Последовательность выполнения научно-исследовательской работы, а также ее содержание зависят от предмета исследования, сложности научно-исследовательской работы, актуальности и новизны темы.

3.8.1 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

Таблица 13 – Контрольные события проекта

Контрольное событие	Дата	Результат
1. Составление ТЗ и его утверждение, разработка плана-графика	10.10.17	Составление плана работ
2. Начало изучения литературы	15.10.17	Составление схемы экспериментальной установки
3. Подбор необходимых запчастей	10.11.17	Сборка экспериментальной установки
4. Снятие первых осциллограмм	16.11.17	Проверка работоспособности установки
5. Регулирование длительности импульса	01.12.17	Проверка эффективности зондирующих импульсов
6. Замена тиристора	06.12.17	Получение более резких осцилляций
7. Испытания коммутационными импульсами	19.12.17	Проверка эффективности коммутационных импульсов
8. Вывод о проведённых экспериментах	28.12.17	Написание основной части
9. Разработка направлений коммерциализации проекта	26.03.18	Заключение договора с предприятием-заказчиком и получение прибыли

3.8.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы.

Таблица 14 – Календарный график проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1. Составление ТЗ и его утверждение, разработка плана-графика	1	10.10.17	11.10.17	Руководитель проекта, эксперт проекта,
2. Изучение литературы и прочих материалов по теме	15	15.10.17	01.11.17	Руководитель проекта, исполнитель проекта,
3. Составление схемы экспериментальной установки	6	01.11.17	07.11.17	Эксперт проекта, исполнитель проекта
4. Подбор запчастей	3	07.11.17	10.11.17	Эксперт проекта, исполнитель проекта
5. Подбор и изучение объекта испытаний	3	10.11.17	13.11.17	Руководитель проекта, исполнитель проекта
6. Сборка экспериментальной установки	3	13.11.17	16.11.17	Эксперт проекта, исполнитель проекта
7. Проведение серии первичных экспериментов	13	16.11.17	29.11.17	Исполнитель проекта
8. Регулирование параметров импульсов	5	01.12.17	06.12.17	Исполнитель проекта
9. Замена ключевого элемента схемы (тиристора) и повтор экспериментов	9	06.12.17	15.12.17	Исполнитель проекта
10. Испытания коммутационными импульсами	5	19.12.17	24.12.17	Исполнитель проекта

Продолжение таблицы 14

11. Оценка эффективности и анализ результатов	61	25.12.17	01.03.18	Руководитель проекта, исполнитель проекта
12. Оформление результатов в форме ПЗ	73	12.03.18	24.05.18	Исполнитель проекта
Итого:		Эксперт проекта		13
		Руководитель проекта		80
		Исполнитель проекта		196

Таблица 15 – Календарный план-график проведения НИОКР

Название	Длит- ть, дни	Состав участников	Продолжительность выполнения работ																							
			Октябрь		Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Составление план- графика, ТЗ и его утверждение	1	Эксперт																								
		Руководитель																								
Изучение литературы и прочих материалов	15	Исполнитель																								
		Руководитель																								
Составление схемы экспериментальной установки	6	Эксперт																								
		Исполнитель																								
Подбор запчастей	3	Эксперт																								
		Исполнитель																								
Подбор и изучение объекта исследований	3	Исполнитель																								
		Руководитель																								
Сборка экспери- ментальной установки	3	Эксперт																								
		Исполнитель																								
Проведение серии первич. эксперим-ов	13	Исполнитель																								
Регулир-е параметров импульсов	5	Исполнитель																								

Продолжение таблицы 15

Замена ключ. элем-та и повтор эксперим-ов	9	Исполнитель																							
Испытания коммут. импульсами	5	Исполнитель																							
Оценка эффект-ти и анализ результатов	61	Исполнитель																							
		Руководитель																							
Оформление результатов (в т.ч. патента)	73	Исполнитель																							

3.8.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 16.

Таблица 16 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Диод	1N4007	1 шт.	5	5
Генератор	MF-1 27k	1 шт.	9	9
Резистор	MF-1 36k	1 шт.	10	10
Резистор	МЛТ-1 20k	2 шт.	25,9	51,8
Резистор	МЛТ-2 6k	2 шт.	5,31	10,62
Резистор	МЛТ-2 10k	2 шт.	5,31	10,62
Резистор	МЛТ-2 270k	2 шт.	5,31	10,62
Резистор	МЛТ-2 2.2M	2 шт.	5,31	10,62

Продолжение таблицы 17

Конденсатор	224J	2 шт.	4,56	9,12
Динистор	КН102А	2 шт.	90	180
Тиристор	КУ202Н	2 шт.	64,9	129,8
Клемма приборная	КП-1Б	8 шт.	140	1120
Провод силовой	ПУГВ 1х0,5	2 м	5,8	11,6
Припой	ПОС-40	1 уп.	85	85
Канифоль	Сосновая	1 уп.	40	40
Пластина из текстолита	50х100	1 шт.	90	90
Итого за материалы и изделия				2059,8
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				103
Итого по статье C_m				2162,8

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 18 – Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. Выключатель автоматический однополюсный IEK С ВА47-29 16 А	2 шт.	112	224
2. Осциллограф Tektronix TDS 1012B	1 шт.	51780	51780
3. Щуп осциллографа	1 шт.	699	699
4. Автотрансформатор лабораторный РНО-250- 2	1 шт.	4900	4900

Продолжение таблицы 18

5. Трансформатор ОСМ1-0,1	1 шт.	1000	1000
6. НТМИ-6-66 (б/у)	1 шт.	32290	32290
7. Паяльник ZD-407 40W	1 шт.	290	290
8. Мультиметр MASTECH MAS830	1 шт.	840	840
Итого			92023

Т.о., общие затраты на опытный образец составили 94185,8 руб.

Основная заработная плата

В рамках хоздоговорных работ предполагается компенсация трудозатрат руководителя и исполнителей проекта. Определим их, руководствуясь среднедневным размером оплаты труда, принятым в ТПУ.

Основная заработная плата сотрудника (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИР и определяется по формуле:

$$C_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (2)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (3)$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 17);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб./день.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб./мес.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала. Составляет 247 дней.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_p, \quad (5)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб./мес.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад $Z_{\text{б}}$ определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Таблица 19 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$, руб./мес.	k_p	$Z_{\text{м}}$, руб./мес.	$Z_{\text{дн}}$, руб./день	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн.}}$, руб.
Исполнитель	17000	1,3	22100	931	196	182476
Руководитель	26300	1,3	34190	1440	80	115200
Эксперт	36800	1,3	47840	2015	13	26195
Итого:	63100		104130	4386		323871

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (6)$$

Таблица 20 – Заработная плата

Заработная плата	Исполнитель	Руководитель	Эксперт	Сумма
Основная зарплата	182476	115200	26195	323871
Дополнительная зарплата	21897	13824	3143,4	38864,4
Итого $C_{зп}$	362735,4			

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{соц} = k_{внеб} \cdot C_{зп}, \quad (7)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 0,271, т.к. заключался хозяйственный договор с НИ ТПУ.

$$C_{соц} = 0,271 \cdot 362735,4 = 98301,3 \text{ руб.}$$

Затраты на оформление патента

Благодаря оформлению патентов на различные товары, способы создания изделий и т. д., есть возможность обеспечить защиту от контрабандного производства изделий, и не иметь проблем с законом, если вдруг на создаваемый товар получают патент и ваши конкуренты. Также

авторство на патенты дает возможность вам получить доход от того, что вы передадите права на его применение другим лицам. Согласно законам РФ, изобретением может быть признано то или иное техническое решение различных отраслей, которое относится к продукту или способу его производства. На 2018 г. стоимость оформления патента составляет приблизительно 8000 руб.

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляет 20 % бюджета проекта, согласно условиям заключения хозяйственного договора в НИ ТПУ.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{итог}} = \frac{C_{\text{итог.б.н}}}{0,8},$$

(8)

$$C_{\text{накл}} = C_{\text{итог}} - C_{\text{итог.б.н}},$$

(9)

где $C_{\text{итог}}$ – итоговая сумма с накладными расходами;

$C_{\text{итог.б.н}}$ – итоговая сумма без накладных расходов.

$$C_{\text{итог}} = \frac{563222,5}{0,8} = 704028,13 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{накл}} = 704028,13 - 563222,5 = 140805,63 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 22.

Таблица 21 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Оформление патента	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
2162,8	92023	323871	38864,4	98301,3	8000	563222,5	140805,63	704028,13

3.8.4 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 22 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1. Отсутствие методики определения дефекта	Отсутствие спроса на технологию, снижение эффективности	3	2	Высокий	Выявление закономерностей диагностики	Отсутствие экспериментальных и теоретических исследований
2. Низкое качество диагностики	Снижение спроса на технологию, снижение эффективности	4	4	Низкий	Жесткие требования к персоналу, тщательный контроль	Низкая квалификация персонала, халатность
3. Отсутствие финансовой поддержки проекта	Приостановка НИОКР	2	1	Высокий	Поиск инвесторов	Отсутствие инвесторов

3.9 Определение финансовой, бюджетной, экономической и социальной эффективности исследования

Проведем оценку эффективности инвестиций на реализацию проекта в целом, при этом сформируем денежный поток на вложенный капитал (собственные средства исполнителя и основные средства ТПУ), в т.ч. рост

оплаты труда. В связи с чем компенсация трудозатрат не будет являться оттоком денежных средств.

Оценим текущие материальные расходы на создание и реализацию прибора: 120000 руб. Из них 10000 руб. – сырье и расходные материалы; 70000 руб. – оплата труда; остальные средства – отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.

На предыдущих этапах была рассчитана себестоимость реализации проекта, выбрана модель коммерциализации, рассмотрены риски.

Для оценки общей экономической эффективности инноваций в качестве основных показателей рекомендуются:

- чистый доход (ЧД или NV);
- чистый дисконтированный доход (ЧДД или NPV);
- внутренняя норма доходности (ВНД или IRR);
- потребность в дополнительном финансировании (ПФ);
- дисконтированный срок окупаемости (ДСО или DPP);
- индекс доходности затрат (ИД или PI)

Степень устойчивости проекта по отношению к возможным изменениям условий реализации может быть охарактеризована показателями границ безубыточности и предельных значений таких параметров проекта, как объемы производства, цены производимой продукции, ограниченность применяемых ресурсов и пр. Под "безубыточным" понимается объем продаж, при котором чистая прибыль становится равной нулю.

Ставка дисконтирования принимается 10 %, т.к. 7 % – доходы альтернативных вложенных средств (депозит для юридических лиц); 3 % – надбавка за риск.

Срок проекта принимаем равным 5 лет, т.к. за это время возможно появление новых, более совершенных технологий.

Цену одного хозяйственного договора примем как 250000 руб, согласно ценам на диагностику силового оборудования высокого напряжения.

Ликвидационную стоимость оборудования примем по остаточной стоимости оборудования: 250 тыс. руб.

В таблице 23 приведены расчёты уровня безубыточности для каждого из этапов проекта. Также рассчитаны основные показатели и представлен план денежных потоков:

Таблица 23 – План денежных потоков и расчёт безубыточности

Показатель, тыс. руб.	Номер шага (периода) расчета (t)					
	0	1	2	3	4	5
Операционная деятельность						
1. Поступления денежных средств от хоздоговоров	0	250	500	520	780	520
2. Материальные расходы	0	-120	-205	-205	-303	-210
3. ЧДПоп	0	130	295	315	477	310
4. Коэффициент дисконтирования	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
5. Дисконтированный ЧДПоп	0	118,2	243,7	236,57	325,79	192,51
6. То же накопленным итогом (Накопленное сальдо ЧДПоп)	0	118,2	361,9	598,4	924,2	1116,71
Инвестиционная деятельность						
7. Инвестиции	-705	0	0	0	0	250
8. ЧДПин	-705	0	0	0	0	250
9. Коэффициент дисконтирования	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
10. Дисконтированный ЧДПин	-705	0	0	0	0	155,25
11. То же накопленным итогом (Накопленное сальдо ЧДПин)	-705	-705	-705	-705	-705	-549,75
12. Сальдо суммарного потока (от опер. и инв. деятельности)	-705	130	295	315	477	560
13. Сальдо накопленного потока	-705	-575	-280	35	512	1072
14. Коэффициент дисконтирования	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
15. Дисконтированный ЧДПоп+и	-705	118,2	243,7	236,57	325,79	347,76
16. То же накопленным итогом	-705	-586,8	-343,2	-106,6	219,2	567

Денежный поток в данном случае формируется для ТПУ и частного инвестора (которым выступают сами исполнители). Принимая в расчет структуру расходов по хоздоговорам, а именно: компенсация трудозатрат, отчисления во внебюджетные фонды, материальные затраты, накладные

расходы, притоком денежных средств по хоздоговору будет являться величина хоздоговора, уменьшенная на сумму материальных и прочих расходов. При общей системе налогообложения доходы по хоздоговорам равны расходам, в связи с чем налоги с доходов вузом не уплачиваются. Амортизация в структуру расходов по хоздоговорам не включается. Накладные расходы предлагается отнести к денежным притокам, отчисления во внебюджетные фонды – притоки в целях оценки эффективности для бюджета в связи с тем, что ТПУ представляет именно бюджетные инвестиции.

Чистый доход (ЧД) указан в последнем столбце 13 строки: ЧД = 1072 тыс.руб.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) указан в последнем столбце 16 строки: ЧДД = 567 тыс. руб.

ВНД определяется, исходя из строки 12, подбором значения нормы дисконта. Используя встроенную функцию расчета ВНД в программе Microsoft Excel (формула «ВСД»), получаем, что ВНД = 32 %. Это еще раз подтверждает эффективность проекта, так как $ВНД > E$. Потребность в финансировании (ПФ) определяется максимальным отрицательным значением по строке 13 и равна 705 тыс. руб.

Индекс доходности инвестиций (ИД) или рентабельность инвестиций – отношение суммы доходов от производственной (операционной) деятельности к абсолютной величине капитальных вложений. Определяется как:

$$ИД = \frac{ЧД_{опнак}}{ЧД_{иннак}} = \frac{1116,71}{549,75} = 2,031$$

(10)

Сроком окупаемости (payback period) называется продолжительность периода от момента разработки проекта до момента окупаемости. Он определяется путем сопоставления произведенных капитальных вложений с величиной доходов от реализации проекта. Моментом окупаемости называется тот наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после

которого текущий чистый доход ЧД становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций:

$$ДСО = t + \frac{-C_{ni}}{C_{ci+1}} = 3 + \frac{106,6}{325,79} = 3,33 \text{ года} \quad (11)$$

где t – срок окупаемости, отсчитанный от начала операционной деятельности;

C_{ni} – сальдо накопленного потока i -го периода;

C_{ci+1} – сальдо суммарного потока $i+1$ -го периода.

3.9.1 Вывод по разделу

По итогам выполнения раздела была проведена оценка экономической эффективности и ресурс эффективности проекта. Из проведенных расчетов можно заключить, что устойчивость проекта особых подозрений не вызывает.

По результатам расчёта экономических показателей эффективности возврата инвестиций, можно сделать вывод о том, что проект является инвестиционно-привлекательным. Данный проект имеет хорошие экономические показатели (низкий бюджет, цена реализации лицензии, малый срок окупаемости и высокий индекс доходности).

Таким образом, привлечение средств ТПУ и собственных средств участников проекта могут считаться эффективными., а проект рекомендован к реализации.

4. Социальная ответственность

Социальная ответственность – это зачастую объективная необходимость отвечать за нарушение социальных норм. Она выражает характер взаимоотношений личности с обществом, государством, коллективом и другими социальными группами, т.е. со всеми окружающими ее людьми. В основе социальной ответственности лежит общественная природа поведения человека.

Тема научно-исследовательской работы «Разработка технологии контроля частичных разрядов в изоляции высоковольтных вводов конденсаторного типа на основе импульсного метода». В данном разделе будут рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, действующие на инженера-проектировщика в лаборатории, в которой производится разработка и использование данного метода, а также будет рассмотрено безопасность в чрезвычайных ситуациях и экологическая безопасность.

Рассматриваемое рабочее место инженера-проектировщика находится в лабораторном помещении. Место расположение инженера-проектировщика находится в 8 корпусе в 071 аудитории. В процессе разработки инженер-проектировщик подвергается воздействию целого комплекса различных факторов среды.

Условия труда характеризуются вредными и опасными факторами, которые могут привести к ухудшению здоровья или к несчастному случаю. Главной целью улучшения условий труда является обеспечение безопасности труда, сохранение жизни и здоровья работающих, предупреждения несчастных случаев и заболеваний на производстве.

4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник аудитории 071, 8 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
 - обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
 - отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
 - обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
 - внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв.

мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место сотрудника аудитории 071, 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

4.2. Производственная безопасность

В разделе производственной безопасности с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке технологии или работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места.

4.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [2]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы.

Таблица 4.1. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программного модуля

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с осциллографом Работа с ЭВМ Экспериментальные оборудования	Повышенный уровень электромагнитных полей [2, 17]; Недостаточная освещенность рабочей зоны; [2,3, 17]; Повышенный уровень шума на рабочем месте; [2, 17]; Неудовлетворительный микроклимат [2, 17]; Повышенный уровень напряженности электростатического поля [2, 17].	Электрический ток Пожаровзрыв опасность	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 СанПиН 2.2.2.542-96 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 СанПиН 2.2.4.548-96 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 ГОСТ 30494-2011

4.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При разработке технологии диагностики трансформаторов в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ, основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) являются экспериментальные

оборудование, опасность поражения электрическим током. Использование серверного оборудования может привести к наличию таких вредных факторов, как повышенный уровень статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

К основной документации, которая регламентирует вышеперечисленные вредные факторы относится СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы":

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) на рабочем месте, создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений [5], представленных в таблице 4.2.

Таблица 4.2: Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Уровни ЭМП, ЭСП в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ, перечисленные в таблице 4.2. соответствуют нормам.

Электробезопасность:

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением;

2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением; 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала; 4) поражение шаговым напряжением и др.

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ и осциллографом, оборудование должно быть оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации [16]. Для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия: 1) оформление работы нарядом или устным распоряжением; 2) проведение инструктажей и допуск к работе; 3) надзор во время работы. Уровень напряжения для питания ЭВМ в данной аудитории 220 В, для серверного оборудования 380 В. По опасности поражения электрическим током помещение 071, 8 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%) [16].

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ[16], установлены защитное заземление, зануления, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

Не следует размещать рабочие места с ЭВМ вблизи силовых кабелей, технологического оборудования, создающего помехи в работе ЭВМ[4].

Рассчитано защитное заземление для ЭВМ и другого обслуживаемого оборудования, которое находится в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ [18]:

1. В качестве заземляющего устройства (вертикальные электроды) используем стальные трубы диаметром $d = 55$ мм, в качестве соединяющего элемента – стальная полоса шириной $b = 50$ мм.

2. Сопротивлению грунта в районе размещения установки или устройства.

Таблица 4.3. Исходные данные для расчета

Вид заземления	контурное
Длина заземлителя l , м	2,7
Глубина заземлителя в грунте h , м	0,65
Сезонный коэффициент K_c	2,0
Удельное сопротивление земли ρ , Ом·м	70
Диаметр d , мм	55
Ширина соединительной полосы b , мм	50
Допустимое сопротивление системы заземления по ПУЭ $R_{з.у.}$, Ом	4
Уровень напряжения, В	220-380

3. Величина электрического сопротивления растекания тока в грунт с одиночного заземлителя:

$$R_z = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) =$$

$$= 0,366 \frac{70 \cdot 2}{2,7} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,055} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 2,7}{4 \cdot 2 - 2,7} \right) = 40,62 \text{ Ом},$$

где $\rho = 70$ Ом – удельное сопротивление грунта,

$K_c = 2$ – коэффициент сезонности,

$l = 2,7$ м – длина заземлителя,

$d = 0,055$ м – диаметр заземлителя,

$t = h + 0,5l = 0,65 + 0,5 \cdot 2,7 = 2$ м – длина от поверхности земли до середины заземлителя.

4. Число заземлителей без взаимных помех, получаемых друг от друга, без так называемого явления «экранирования»:

$$n' = \frac{R_z}{R_{з.у.}} = \frac{40,62}{4} = 10,15 \approx 10$$

5. Число заземлителей с коэффициентом экранирования:

$$n = \frac{n'}{\eta_z} = \frac{10}{0,58} = 17,24 \approx 18$$

где $\eta_z = 0,58$ – коэффициент экранирования [5].

Принимаем расстояние между заземлителями $a = l = 2,7$ м.

6. Длина соединительной полосы:

$$l_n = 1,05 \cdot n \cdot a = 1,05 \cdot 18 \cdot 2,7 = 51,03 \text{ м}$$

7. Значение сопротивления растекания тока с соединительной полосы:

$$R_{II} = 0,366 \frac{\rho K_c}{l_n} \lg \frac{2l_n^2}{b \cdot h} = 0,366 \frac{70 \cdot 2}{51,03} \lg \frac{2 \cdot 51,03^2}{0,05 \cdot 0,65} = 5,2 \text{ Ом}$$

8. Полное сопротивление системы заземления:

$$R_{з.у.} = \frac{R_z \cdot R_{II}}{R_z \cdot \eta_n + R_{II} \cdot \eta_z \cdot n} = \frac{40,62 \cdot 5,2}{40,62 \cdot 0,51 + 5,2 \cdot 0,58 \cdot 18} = 2,82 \text{ Ом},$$

где $\eta_n = 0,51$ – коэффициент экранирования полосы.

Таким образом, сопротивление $R_{з.у.} = 2,82$ Ом не превышает 4 Ом. Следовательно, диаметр заземлителя $d = 55$ мм при числе заземлителей $n = 18$ является достаточным для обеспечения защиты при контурной схеме расположения заземлителей.

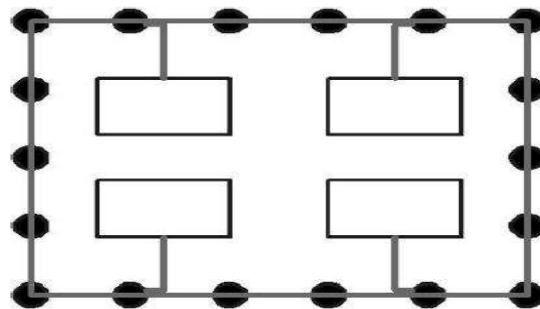


Рисунок 1 – Схема контурного заземления

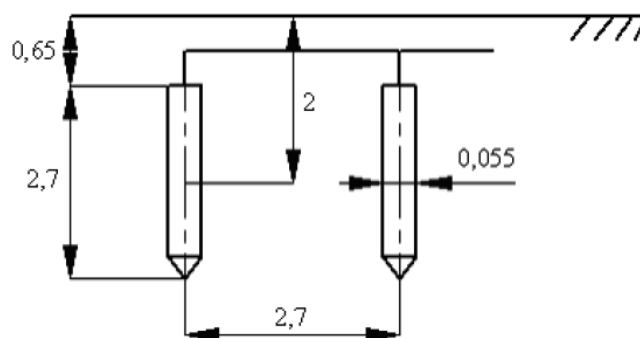


Рисунок 2 – Схема расположения заземлителей

Разработанные мероприятия и расчеты обеспечивают безопасную эксплуатацию электроустановок в исследуемой аудитории.

Освещение:

В аудитории 071, 8 корпуса ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ЭВМ осуществляется системой общего равномерного освещения. В случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк [6]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [6].

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения) [6]

Таблица 4.4. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий [6]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость б плоскость б нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости и над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дисконтфорт М, не более	Коэффициент пульсации и K_p , %, не более
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении			
Кабинеты	Г-0,0	3,0	1,0	1,8	0,6	300	-	≤5%(работа с ЭВМ) ≤20%(при работе с документацией)

Согласно [17] освещение в аудитории 071 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

Шум

При работе с ЭВМ в лаборатории 071, 8 корпуса ТПУ характер шума – широкополосный с непрерывным спектром более 1 октавы.

Таблица 4.5. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест [8]

N пп.	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Согласно [17] уровень шума в лаборатории 071, 8 корпуса ТПУ не более 80 дБА и соответствует нормам.

Микроклимат

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Аудитория 071, 8 корпуса ТПУ является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) [7]

Таблица 4.6. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Катег. работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 4.7. Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

В аудитории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Согласно [17] микроклимат в лаборатории 071, 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

4.3. Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

4.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Разработка технологии диагностики трансформаторов проводится с использованием осциллографа и ЭВМ, которые не наносит вреда окружающей среде.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы [44]. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не

рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.

2. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.

3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.

4. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.

5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.

6. Получается специальная официальной формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах. [9]

4.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также работа с помощью различных программных комплексов. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как разработка технологии проходит с помощью ЭВМ в учебной аудитории, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории. Замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в серверной комнате.

- Согласно СП 5.13130.2009 предел огнестойкости серверной должен быть следующим: перегородки - не менее EI 45, стены и перекрытия - не менее REI 45. Т.е. в условиях пожара помещение должно оставаться герметичным в течение 45 минут, препятствуя дальнейшему распространению огня.

- Помещение лабораторной должно быть отдельным помещением, функционально не совмещенным с другими помещениями. К примеру, не допускается в помещении лабораторной организовывать мини-склад оборудования или канцелярских товаров.

- При разработке проекта в лаборатории необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории (п. 15.1 СП 5.13130.2009).

- Согласно СП 5.13130.2009 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать автоматически закрывающиеся при обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны).

4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении 071, 8 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.

- 2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.

- 3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и техникой разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Аудитория 071, 8 корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 4.8 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П- Па.

Таблица 4.9. Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П- Па	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В корпусе 8 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.

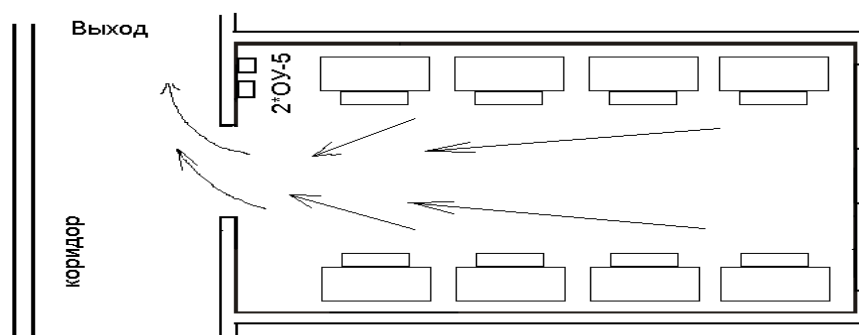


Рисунок 3 – План эвакуации людей на случай пожара.

Согласно специальной оценки условия труда [17] условия пожарной безопасности в лаборатории 071, 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам

Список использованной литературы

1. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия. Ленингр. Отд-ние, 1979. 224 с.
2. FB.ru: <http://fb.ru/article/322428/chastichnyi-razryad-v-izolyatsii-protsess-vozniknoveniya-chastichnogo-razryada>
3. <https://studfiles.net/preview/6757147/page:7/>
4. Морозова Т. И., Сапожников А.В. Некоторые проблемы развития нормативов на уровне изоляции силовых трансформаторов высокого напряжения. – Электротехника, 1974, № 4, с 1-6.
5. СТО РусГидро 02.03.77-2011 «Гидроэлектростанции. Продление срока службы основного оборудования в процессе эксплуатации. Нормы и требования».
6. Y. P. Aksenov, I. Yaroshenko, G. Noe, A. Andreev, “Diagnostic Technology for Transformers: Methods Synergy and Double-Coordinate Location,” IEEE-SDEMPED’ 2009.
7. [8] N.Kock, B.Coric, and R.Pietsch (ABB High Voltage Technologies, Ltd.), “UHF PD Detection in Gas-Insulated Switchgear – Suitability and Sensitivity of the UHF Method in Comparison with IEC 270 Method”, Electrical Insulation Magazine, Vol.12, N6, p.20-26, November/December 1996.
8. МУ 1.3.3.99.0038-2009 «Методические указания по диагностике силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и их вводов».
9. МУ 1.2.1.16.0220-2014 (до 2014г. РД ЭО 0410-02) «Методические указания по оценке состояния и продлению срока службы силовых трансформаторов».
10. Каплан Д.А., Лоханин А.К., Морозова Т.И. Вольт-секундная характеристика главной изоляции силовых трансформаторов. – Электричество, 1971, № 12, с 37-41

11. Влияние увлажнения на электрические характеристики бумажно-масляной изоляции конденсаторного типа при переменном напряжении промышленной частоты./Г.С. Кучинский, Г.Г. Лысаковский, Ю.В. Берзии и др. – Электричество, 1969, № 10, с. 69-72.
12. Мясничков В.Г. Неполный пробой и загрязнение полиэтиленовой изоляции. – в кн.: Конструирование и исследование высокочастотных кабелей. Л.: Энергия, 1974, с. 162-168.
13. Стругов В.В., Лавринович В.А. Обнаружение частичных разрядов в машинах постоянного тока импульсным методом. С. 72–77
14. ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ. Стругов В.В., Антипов С.А.
15. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ, Томск 2019
16. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015
17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003
19. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях, 2003
20. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение, 2011
21. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, 1996
22. СН 2.2.4/2.1.8.562–96, Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1996

23. ГОСТ 30494-2011, Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, 2011
24. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования, 1984
25. Пожарная безопасность серверной комнаты [Электронный ресурс] URL: <https://avtoritet.net/library/press/245/15479/articles/15515>, Дата обращения: 10.03.2019
26. Системы противопожарной защиты УСТАНОВКИ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПОЖАРОТУШЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИЕ, 2009
27. НПБ 105-03, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, 2003
28. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)
29. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя, 2017
30. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. Седьмое издание, 2002
31. Специальная оценка условий труда в ТПУ. 2018.
32. Дашковский А.Г. Расчет устройства защитного заземления. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Электробезопасность» для студентов всех специальностей ЭЛТИ. Томск, изд. ТПУ, 2010. – 8 с.

Приложение II

(справочное)

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR MONITORING PARTIAL DISCHARGES IN INSULATION OF HIGH VOLTAGE CAPACITOR TYPE INPUTS BASED ON THE PULSE METHOD

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM72	Токтарбаев Магжан Калмуратович		

Консультант школы отделения (НОЦ) _____ (аббревиатура школы, отделения (НОЦ)) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мытников Алексей Владимирович	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы _____ (аббревиатура отделения (НОЦ) школы) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Марцева Татьяна Александровна			

Notation, abbreviations

HV – High Voltage;

MV – Medium Voltage;

LV – Low Voltage;

OBI - Oil Barrier Isolation;

POI - Paper Oil Isolation;

PD - Partial Discharges;

LVPM - Low Voltage Pulse Method;

Partial discharge (PD) measurements are in use for more than 50 years with the aim to assess the condition of the insulation systems of high voltage (HV) apparatus and components. In large power transformers and power generators, PD-sources can be situated well hidden inside complex insulation systems. For PD-sources inside the active parts of such systems, measured values of the apparent charge in pC/nC do not sufficiently reflect the real risk of these defects. This is mainly due to the strong attenuation and deterioration of the PD-signals in such insulation systems. Therefore, continuous PD-activity detected at or below nominal voltage during a factory acceptance test, or recorded on-site by a monitoring system, may be harmful for a HV apparatus in service. In case of confirmed internal PD-activity, further investigation and localization should follow. Beside the analysis of simultaneously recorded PD- patterns at all terminals, the evaluation of PD-signals in the time-domain and frequency-domain offers a considerable potential to localize internal PD-sources in extended insulation systems. PD-signals detected at the terminals of a transformer or generator contain information about their propagation paths from the unknown location of the PD-source to the specific sensor. This contribution describes both, the advanced PD-measuring techniques and procedures for identification and localization of PD-sources. The advantages and limits of PD-signal analysis in the time- and frequency-domain are discussed using practical examples.

The "health" of high voltage (HV) apparatus is strongly dependent on the ability of the insulation system to withstand permanent electrical stress without damage during the expected lifetime. During its service, the HV insulation system is continuously aging, primarily through a combination of electrical, mechanical, thermal and chemical stresses. As a result of this ageing process, regions with decreased dielectric strength are generated in the insulation system. Vulnerable regions or spots with reduced dielectric strength in an aged insulation system, or a local defect with excessive field stress in a new insulation system are the main sources of partial discharges (PD). It is established, that permanent PD-activity in an insulation system during service can cause an unplanned outage of a HV apparatus

or component. Investigated failures of power transformers and power generators show that more than 40 % of uncontrolled outages (major failures) are caused by insulation damage (see Figure 1) [1, 2].

In most cases, the complete electrical breakdown caused by dangerous PD develops slowly. Unplanned outages with insulation damage due to PD can be avoided when such defects are identified and localized at an early stage. Therefore, partial discharge (PD) measurement is the preferred method to verify the integrity of insulation systems in high voltage components or apparatus, in the HV laboratory during factory acceptance tests (FAT) as well as during site acceptance tests (SAT) of new or service aged HV components.

PD-measurements of large power transformers on site and the analysis of PD-results became much more reliable with the development of both, new measuring techniques, such as the phase resolving partial discharge analyzer (PRPDA) for recording of PD-pattern [3] and mobile HV voltage test sets [4, 5].

Despite over fifty year experience with PD-tests based on the measured apparent charge, and despite the successful identification of generic “types” of PD-sources through the analysis of PD-pattern, there is still a lack of reliable methods to localize an internal PD-source in complex and extended insulation systems of power transformers or power generators. This is mainly due to the fact that: PD-sources may be located in many positions within the insulation system, and electrical PD-signals can only be detected at the terminals (bushings) of the device under test.

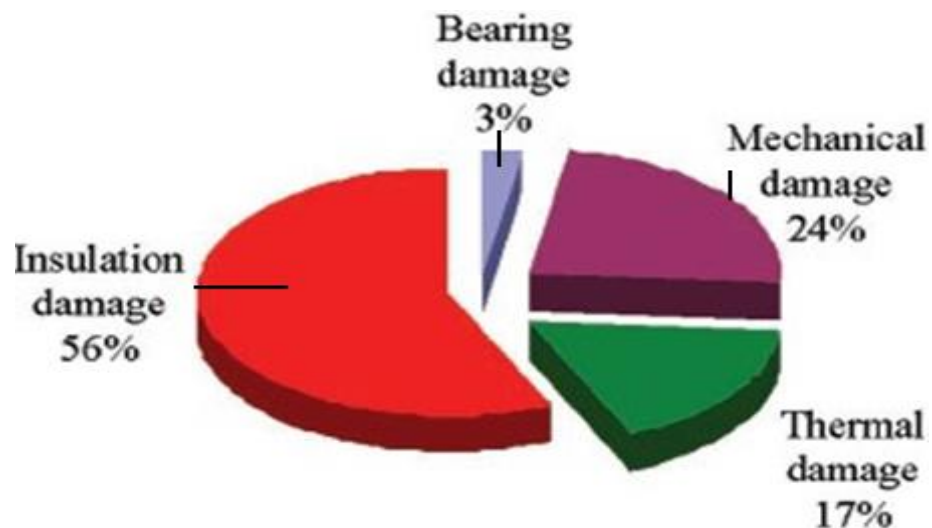


Figure 1 – Major failures in generator insulation [1].

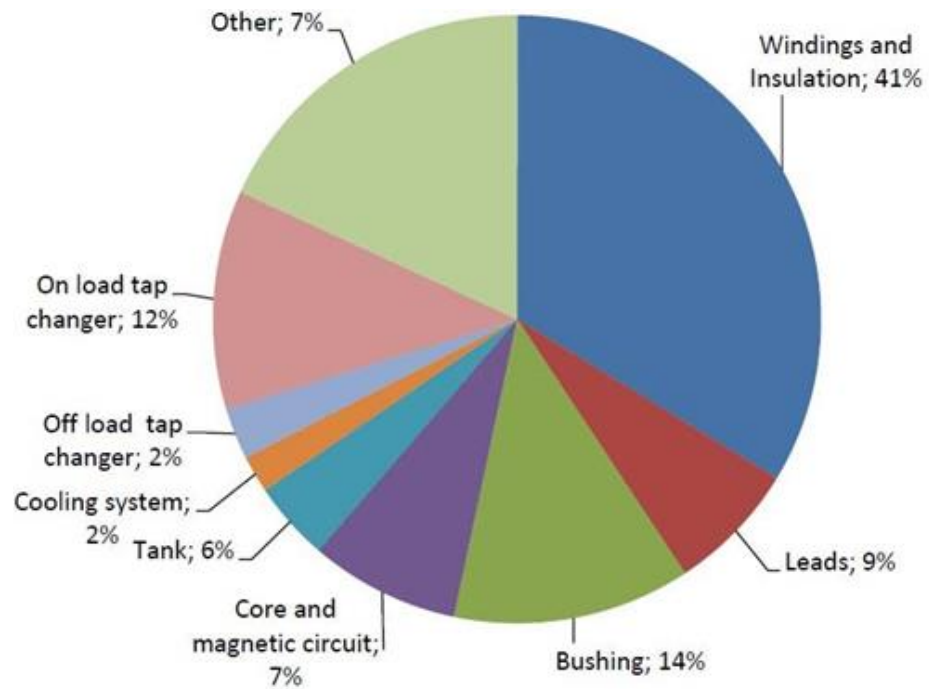


Figure 2 – Major failures in transformer insulation [2].

For power transformers, acoustical methods are largely used to localize internal PD-sources [13, 24]. However, the propagation path of the ultrasonic waves between the PD-source and the acoustical sensors, attached externally on the tank wall is heavily influenced by the complicated structure of the active part (core, windings, and tank walls) and by solid material (barriers) of the insulation system. On its propagation path, the acoustical signal emitted from the PD-source changes both, the amplitude (attenuation) and the signal shape (absorption, reflexion, dispersion). For this reason, the reliable localization of the PD-sources using acoustical methods is limited to PD- sources situated outside of the active part, where acoustical waves are emitted directly into the oil and to the tank wall.

When PD-sources are “hidden” in the insulation system of transformers, different PD-detection methods should be applied in combination before removing the oil and opening the transformer tank. The chance to find PD-sources in the windings or in the main insulation by visual inspection only is very limited because

most critical parts of the transformer are not accessible without dismantling (see Figure – 3).



Figure 3 – Example of the active part of a large power transformer.

For the recognition of PD-defects in power generators, well established off-line diagnostic methods are in use for many years. PD-measurements combined with visual inspection of the stator insulation is the most effective method to recognize “reparable defects” in the insulation system, such as loose wedges and bars, tracks of discharges between bars, or discharge tracks between bars and press fingers, and contaminated end windings etc. (see Figure – 4).



Figure 4 – Example of a stator winding system of a power generator.

In off-line testing of power generators, a camera sensitive to ultraviolet light (UV-camera) is able to detect and localize PD-activity in all accessible parts of the end windings. Slot discharges in an advanced state (white powder) can be identified by visual inspection of the stator (see Figure 3). In off-line voltage tests of the stator system, the early stage of slot discharges can be localized by moving an antenna over the stator slots [4].

The introduction of PD-monitoring systems for generators permits condition-based maintenance instead of time-based maintenance. With this new maintenance strategy, the advantage of localizing dangerous PD-sources in the stator windings at an early stage by visual inspection will gradually disappear.

The simultaneous recording of time- and frequency-domain signals at all terminals (bushings) of power transformers and generators offers a considerable potential to localize “hidden” PD-sources in their insulation system [4]. Each PD-signal detected at a specific terminal of the unit under test contains information about its propagation paths from the origin of the PD-source to this terminal. A comparison of all recorded PD- signals obtained at different terminals with the “characteristic” response of the investigated HV component delivers information about the position of the PD-source within the insulation system. The “characteristic” response of the

test object can be obtained by an injection of a calibrating signal impulse at all terminals before or after the PD-test.

This contribution describes both the advanced PD-measuring system and the procedures for localization of PD-sources in insulation systems of power transformers and power generators based on the analysis of PD-signals in the time- and frequency- domain. The advantages and limits of PD-signal analysis in the time- and frequency-domain are discussed using practical examples.

CONVENTIONAL PD-METHODS

The basic principle to detect and measure PD-activity, the requirements for conventional PD-measuring systems, the measuring procedures and the acceptance criteria for results of PD-tests are described in international standards [7-10]. Conventional (electrical) PD-methods are based on the detection of PD-current impulses $i(t)$ circulating in a circuit consisting of a coupling capacitor C_k connected in parallel with the test object capacitance C_p via a measuring impedance Z_m , as shown in Figure 5.

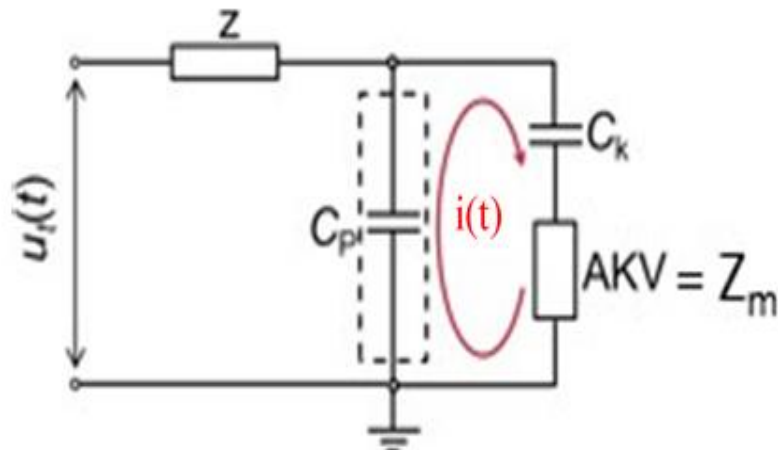
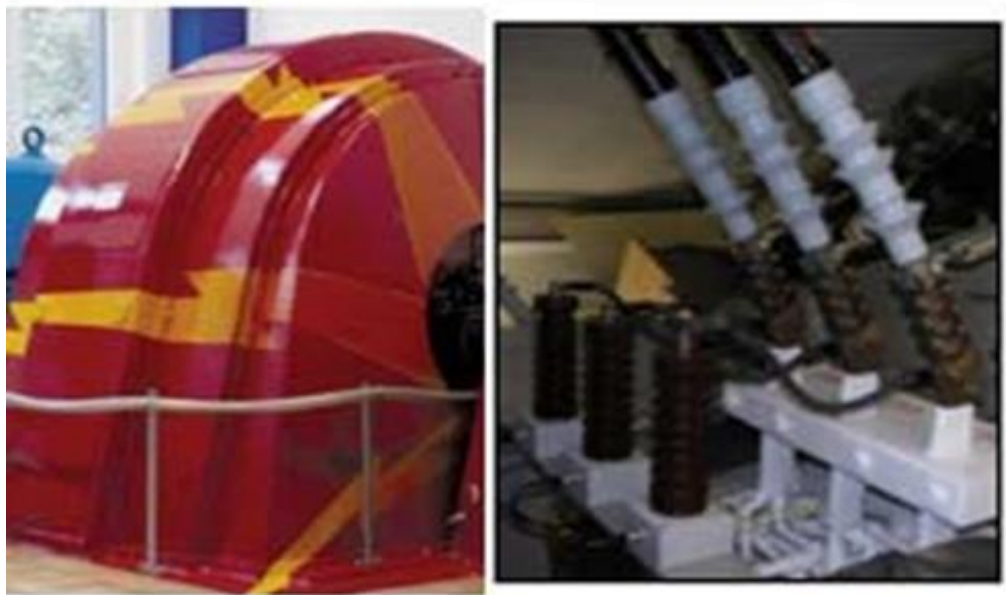


Figure 5 – Conventional PD-detection circuit. $i(t)$: PD-current impulse, C_p : test object capacitance, C_k : coupling capacitor, Z : inductive impedance of connection to voltage source, $AKV = Z_m$: measuring impedance (AKV : coupling device).

For the PD-detection in power transformers and power generators, measuring impedances Z_m are connected to their terminals via coupling capacitors C_k (see Figure 5). In the case of generators, external high voltage coupling capacitors must be connected directly to the terminals. For power transformers the capacitive graded bushings are normally utilized as coupling capacitance. If bushing taps are not available, external coupling capacitors must be used. With large power transformers and generators, it is recommended to connect all accessible terminals of the unit under test to a measuring impedance. Such a multi-terminal set-up allows to follow the PD-activity at all terminals simultaneously and to perform the coarse localization of the PD-source by comparison of recorded PD-signals in time- and frequency-domain.



- a) PD-signal coupling on power generator with coupling capacitors C_k and measuring impedance Z_m connected to the terminal



- b) D-signal coupling on power transformer with high frequency current transformer (HF-CT) connected to bushing tap.

Figure 6 – PD-signal coupling at the terminals of power generators (Ck) and power transformers (busing tap).

The acceptance criteria for results of PD-tests in the actual international standards are based on the concept of the “apparent” charge, measured in pico-coulomb (pC) or nano- coulomb (nC) [7-10]. The recommended acceptance criteria for a specific test object are mainly based on service experiences and data collected during factory acceptance tests (FAT). Systematic investigations of clearly identified PD- defects in power transformers and power generators are essential for the definition and verification of the proposed acceptance criteria.

To check the sensitivity of the PD-detection system and to calibrate the amplitude of the measured PD-signal, artificial PD-impulses with a well-known charge magnitude are injected to the test object. The procedure to calibrate the PD-measuring system is described in international standards [4- 5].

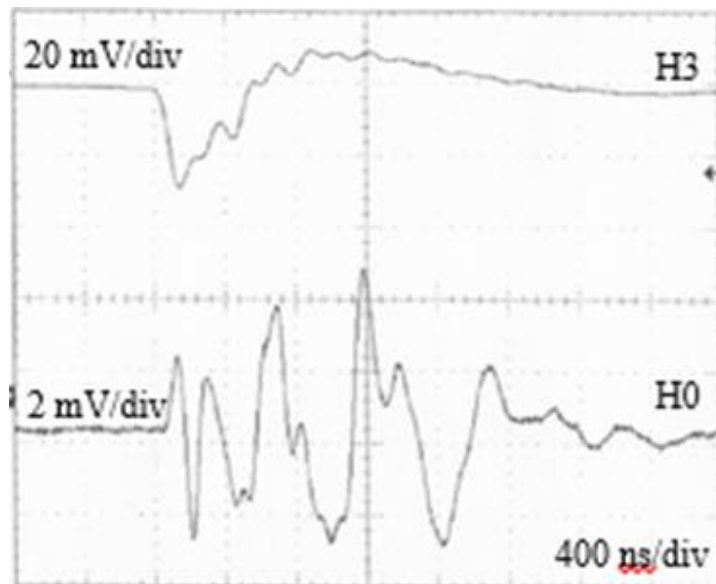
It is important to notice, however, that the apparent charge evaluated in a calibrated PD-measuring circuit does not represent the real charge associated with the local breakdown of a weak region (partial discharge) or of another dielectric failure in an extended insulation system. For complex insulation systems, like those of power generators and power transformers, the calibration factor for the apparent

charge measurement, which is determined for each terminal by injection of a well-defined charge, is only valid for PD- sources situated close to the calibrated terminal. For PD- sources far away from this specific terminal, the calibration factor is not valid anymore.

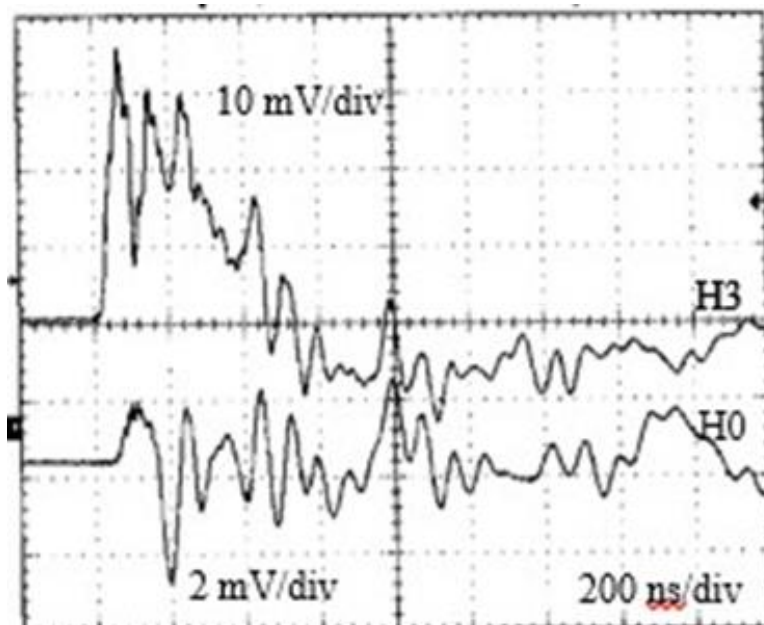
Consequently, the amplitudes of PD-signals detected at the terminals of power transformers or power generators do not directly correlate with the severity of the internal PD-defects. Therefore, the recorded amplitude of the apparent charge alone is not always a meaningful criterion to decide, whether a PD-source detected during a PD-test is dangerous for a specific insulation system. A prerequisite for the correct assessment of PD-activities in HV insulation of transformers or generators is the identification of the PD-source. The identification of generic types of PD can be achieved by employing the statistical PD-signal analysis, i.e. by recording the PD-pattern.

CONCLUSION

Reliable methods to identify and locate partial discharges in complex insulation systems are a prerequisite to assess the condition and the dielectric integrity of power transformers and power generators. An assessment of large HV apparatus, based on measured amplitudes of the apparent charge (according to IEC standards) only, does not adequately reflect the real risk of internal PD-defects. This is mainly because the measured amplitudes of the apparent charge are strongly dependent on the position of the PD-source within the insulation system, with reference to the specific terminal (bushing), where the measuring circuit was calibrated. Moreover, conventional PD-detection circuits (according to IEC 60270) are not suitable for on-site measurements, as their detection sensitivity can be seriously hampered by external interference.



a) Time resolved PD-signals recorded during the PD-test



b) Time resolved response to calibrating signal

Figure 7 – Confirmation of the position of a PD source in the active part of a power transformer:

- a) Time resolved signals of PD-activity detected at terminals H3 and H0
- b) Time resolved response to a calibrating signal injected at the position of the supposed PD-source recorded at terminals H3 and H0 (transformer without oil).

Advanced multichannel PD-systems with improved detection sensitivity and IT-based signal processing are commercially available today, such as phase resolved discharge analysers (PRPDA) and frequency selective PD-detection systems with spectrum analysers. When advanced PD-systems and multi-terminal measuring set-ups are applied on site to power transformers and power generators, it is possible to determine the physical processes at the origin of the PD-activity from recorded PD-pattern, even in a severe noise environment (substation or power station).

Recent applications of the advanced multi-channel detection techniques using the data from time-domain and frequency-domain measurements have demonstrated that a coarse localization of PD-sources in power transformers and generators is possible. The localization procedure is based on a comparison of time resolved PD-signals and frequency spectra of PD-signals with the response of the insulation system to the injection of calibrating impulses at the terminals of the device under test. Although this approach of PD-localization based on information from time-domain and frequency-domain measurements has delivered promising results in many cases, especially for localization of PD-defects in power transformers, more basic investigations and practical work are needed in this field.

REFERENCES

1. CIGRE Technical Brochure 392, Study Committee A1, WG A1.10 “Survey on Hydro Generator Failures”, 2009.
2. CIGRE Technical Brochure 642, Study Committee A2, WG A2.37 “Transformer Reliability Survey”, 2015.
3. B. Fruth, J. Fuhr “Partial Discharge Pattern Recognition - a Tool for Diagnosis and Monitoring of Aging”, CIGRE Main Session 1990, Paris, Paper 15/33-12.
4. R. Braeunlich, M. Haessig, J. Fuhr and Th. Aschwanden, "Assessment of Insulation Condition of Large Power Transformer by On-site Electrical Diagnostic Methods", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Anaheim CA, IEEE Publication 00CH37075, pp. 368, 2000.
5. J.M. Szczechowski and P. Werle, “Experiences with On-Site Testing of Power Transformers”, Proceedings 16th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH), Johannesburg, ISBN 978-0-620- 44585-6, Paper A-60, pp. 63, 2009.